

# CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS DISTRITOS DE PAMPAS Y SANTIAGO DE TUCUMA

Programa presupuestal  
reducción de la  
degradación de  
los suelos agrarios



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Servicio Nacional de  
Meteorología e Hidrología  
del Perú - SENAMHI



©A. Narro





## DIRECTORIO

**Ing. Amelia Díaz Pabló**  
*Presidenta Ejecutiva del SENAMHI*

**Ing. Oscar G. Felipe Obando**  
*Director de la Dirección de Hidrología del SENAMHI*

**Mg. Sc. Julia Y. Acuña Azarte**  
*Subdirectora de Estudios e Investigaciones Hidrológicas del SENAMHI*

## REVISOR DEL ESTUDIO

**Ing. Oscar G. Felipe Obando**  
*Director de la Dirección de Hidrología del SENAMHI*

## RESPONSABLE DEL ESTUDIO

**Mg. Sc. Julia Y. Acuña Azarte**  
*Subdirectora de Estudios e Investigaciones Hidrológicas del SENAMHI*

**Bach. Tannia Sanchez Bernardo**  
*Especialista en Hidrología del SENAMHI*

**Lima-Perú**  
**Noviembre - 2016**

---

## INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1	Antecedentes.....	4
1.2	Justificación .....	5
1.3	Objetivos.....	5
1.3.1	Objetivo General .....	5
1.3.2	Objetivo Específicos .....	5
1.4	Alcances .....	6
2	ESTUDIOS DE REFERENCIA.....	8
3	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	12
3.1	Ubicación geográfica.....	12
3.1.1	Distrito de Pampas.....	12
3.1.2	Distrito de Santiago de Tucuma .....	12
3.2	Accesibilidad y vías de comunicación .....	15
3.3	Clasificación climática .....	15
3.4	Características biofísicas .....	16
3.4.1	Zonas de vida.....	16
3.4.2	Cobertura vegetal .....	17
3.5	Sistema Hidrográfico .....	17
4	MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
4.1	Materiales .....	20
4.1.1	Información cartográfica .....	20
4.1.2	Programas Informáticos.....	21
4.1.3	Información climática .....	21
4.2	Método.....	24
4.2.1	Fase de Campo.....	26
4.2.2	Fase de Gabinete .....	29
4.2.2.1	Etapa 1. Cálculo de parámetros morfométricos, geomorfológicos e hidrológicos	29
4.2.2.2	Etapa 2.Tratamiento de datos climáticos .....	32
4.2.2.3	Etapa 3. Extrapolación de variables climáticas.....	34
	Donde: .....	34
4.2.2.4	Etapa 4. Generación de caudales .....	36

4.2.2.5	Eta	5. Evaluación de eventos extremos: sequias y áreas potenciales a inundación	40
4.2.2.6	Eta	6. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica	40
5	DETERMINACIÓN DE	PARAMÉTROS	42
5.1	Delimitación de	Subcuencas	42
5.2	Parametros morfométricos		42
5.2.1	Parámetros de forma de la cuenca		42
5.2.1.1	Área de la cuenca		42
5.2.1.2	Perímetro de la cuenca		42
5.2.1.3	Longitud del río principal		43
5.2.1.4	Ancho promedio de la cuenca		43
5.2.1.5	Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius		43
5.2.1.6	Factor de forma		43
5.2.1.7	Rectángulo equivalente		44
5.2.1.8	Radio de circularidad		44
5.2.2	Parámetros de relieve de la cuenca		46
5.2.2.1	Curva Hipsométrica		46
5.2.2.2	Polígono de frecuencias		46
5.2.2.3	Altitud media de la cuenca		46
5.2.2.4	Altitud más frecuente		47
5.2.2.5	Pendiente media de la cuenca		47
5.2.2.6	Coeficiente de masividad		48
5.2.2.7	Coeficiente orográfico		48
5.2.2.8	Coeficiente de torrencialidad		48
5.2.3	Parámetros de la red hidrográfica		50
5.2.3.1	Tipo de corriente		50
5.2.3.2	Número de orden de ríos		50
5.2.3.3	Frecuencia de densidad de ríos		50
5.2.3.4	Densidad de drenaje		51
5.2.3.5	Extensión media del escurrimiento superficial		51
5.2.3.6	Pendiente media del río principal		51
5.2.3.7	Altura media del río principal		52
5.2.3.8	Tiempo de concentración		52



5.3	Parámetros geomorfológicos .....	53
5.3.1	Pendiente media .....	53
5.3.2	Orientaciones .....	53
5.3.3	Rugosidad .....	53
5.3.4	Índice elevación-relieve .....	53
5.3.5	Curvatura.....	55
5.3.6	Factor de profundidad de pendiente, S .....	55
5.3.7	Factor de longitud de pendiente, L .....	55
5.3.8	Factor de longitud y profundidad de pendiente LS .....	55
5.4	Parámetros Hidrológicos.....	56
5.4.1	Índice topográfico de humedad, TWI.....	56
5.4.2	Índice de potencia de cauce, SPI .....	56
5.4.3	Capacidad de transporte de sedimentos, STC .....	57
6	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	59
6.1	Análisis de precipitación.....	59
6.1.1	Tratamientos de datos de precipitación .....	59
6.1.1.1	Análisis exploratorio de datos de precipitación.....	60
6.1.1.2	Regiones homogéneas de pluviometría.....	62
6.1.1.3	Verificación de homogeneidad por vector regional.....	63
6.1.1.4	Completación y extensión de datos mensuales de precipitación.....	67
6.1.2	Caracterización de la precipitación por estación.....	71
6.1.3	Gradiente pluviométrico .....	71
6.1.4	Coeficientes del modelo de regresión para la extrapolación de la precipitación .....	74
6.1.5	Caracterización de la precipitación del Distrito de Pampas.....	75
6.1.6	Caracterización de la precipitación del Distrito de Santiago de Tucuma .....	75
6.1.7	Caracterización de la precipitación por Subcuencas .....	76
6.1.7.1	Precipitación en la Subcuenca Anta .....	76
6.1.7.2	Precipitación en la Subcuenca Corinto .....	76
6.1.7.3	Precipitación en la Subcuenca Samerino .....	77
6.1.7.4	Precipitación en la Subcuenca Upamayo .....	78
6.1.7.5	Precipitación en la Subcuenca Macas .....	79
6.1.7.6	Precipitación en la Subcuenca Inico .....	79
6.1.7.7	Precipitación en la Subcuenca Cuchicancha.....	80

6.2	Análisis de la Temperatura del Aire .....	81
6.2.1	Análisis de la Temperatura mínima .....	81
6.2.1.1	Análisis exploratorio de datos de Temperatura mínima .....	81
6.2.1.2	Caracterización temporal de la temperatura mínima por estación.....	84
6.2.1.3	Gradiente de la temperatura mínima .....	85
6.2.1.4	Coeficientes del modelo de regresión para la extrapolación de la temperatura mínima	87
6.2.1.5	Caracterización de la Temperatura Mínima en el distrito de Pampas .....	88
6.2.1.6	Caracterización de la Temperatura Mínima en el distrito de Santiago de Tucuma	88
6.2.1.7	Caracterización de la Temperatura Mínima por subcuenca.....	89
6.2.2	Análisis de la Temperatura máxima .....	93
6.2.2.1	Análisis exploratorio de datos de Temperatura máxima .....	93
6.2.2.2	Caracterización de la temperatura máxima por estación .....	95
6.2.2.3	Gradiente de la temperatura máxima.....	96
6.2.2.4	Coeficientes del modelo de regresión para la extrapolación de la temperatura máxima	98
6.2.2.5	Caracterización de la Temperatura Máxima en el distrito de Pampas.....	99
6.2.2.6	Caracterización de la Temperatura Máxima en el distrito de Santiago de Tucuma	99
6.2.2.7	Caracterización de la Temperatura Máxima por subcuenca .....	100
6.3	Análisis de la evapotranspiración del cultivo de referencia.....	104
6.3.1	Marco conceptual de la evapotranspiración .....	104
6.3.2	Climatología de la evapotranspiración potencial por estación.....	105
6.3.3	Climatología de la evapotranspiración potencial en el distrito Pampas .....	106
6.3.4	Climatología de la evapotranspiración potencial en el distrito Santiago de Tucuma .	106
6.3.5	Climatología de la evapotranspiración potencial por subcuenca.....	107
6.3.5.1	Evapotranspiración en la Subcuenca Anta .....	107
6.3.5.2	Evapotranspiración en la Subcuenca Corinto .....	108
6.3.5.3	Evapotranspiración en la Subcuenca Samerino .....	109
6.3.5.4	Evapotranspiración en la Subcuenca Upamayo .....	110
6.3.5.5	Evapotranspiración en la Subcuenca Macas .....	110
6.3.5.6	Evapotranspiración en la Subcuenca Inico .....	111
6.3.5.7	Evapotranspiración en la Subcuenca Cuchicancha .....	112



7	Oferta hídrica superficial.....	114
7.1	Climatología del escurrimiento superficial .....	114
7.1.1	Escurrimiento superficial en la Subcuenca Anta.....	114
7.1.2	Escurrimiento superficial en la Subcuenca Corinto.....	114
7.1.3	Escurrimiento superficial en la Subcuenca Samerino.....	114
7.1.4	Escurrimiento superficial en la Subcuenca Upamayo.....	115
7.1.5	Escurrimiento superficial en la Subcuenca Macas.....	116
7.1.6	Escurrimiento superficial en la Subcuenca Inico.....	117
7.1.7	Escurrimiento superficial en la Subcuenca Cuchicancha .....	117
7.2	Caudales anuales generados .....	118
7.3	Caracterización de la oferta hídrica superficial.....	120
7.3.1	Oferta hídrica Superficial en la subcuenca Anta .....	121
7.3.2	Oferta hídrica Superficial en la subcuenca Corinto.....	122
7.3.3	Oferta hídrica Superficial en la subcuenca Samerino .....	124
7.3.4	Oferta hídrica Superficial en la subcuenca Upamayo .....	125
7.3.5	Oferta hídrica Superficial en la subcuenca Macas.....	127
7.3.6	Oferta hídrica Superficial en la subcuenca Inico.....	128
7.3.7	Oferta hídrica Superficial en la subcuenca Cuchicancha .....	130
8	ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS.....	133
8.1	Evaluación de eventos de sequía .....	133
8.1.1	Sequias en la Subcuenca Anta .....	133
8.1.2	Sequias en la Subcuenca Corinto .....	135
8.1.3	Sequias en la Subcuenca Samerino .....	137
8.1.4	Sequias en la Subcuenca Upamayo .....	138
8.1.5	Sequias en la Subcuenca Macas .....	140
8.1.6	Sequias en la Subcuenca Inico .....	141
8.1.7	Sequias en la Subcuenca Cuchicancha.....	143
8.2	Áreas potenciales a inundación .....	145
9	EROSIÓN HÍDRICA .....	148
9.1	Marco teórico.....	148
9.1.1	Erosión hídrica en la Subcuenca Anta .....	149
9.1.2	Erosión hídrica en la Subcuenca Corinto .....	149
9.1.3	Erosión hídrica en la Subcuenca Samerino .....	150

9.1.4	Erosión hídrica en la Subcuenca Upamayo .....	150
9.1.5	Erosión hídrica en la Subcuenca Macas .....	151
9.1.6	Erosión hídrica en la Subcuenca Inico .....	152
9.1.7	Erosión hídrica en la Subcuenca Cuchicancha.....	152
10	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	155
10.1	Conclusiones .....	155
10.1.1	Respecto a la delimitación de subcuencas .....	155
10.1.2	Respecto a los parámetros morfométricos, geomorfológicos e hidrológicos .....	155
10.1.3	Respecto a la caracterización de la Precipitación.....	155
10.1.4	Respecto a la caracterización de la Temperatura mínima.....	156
10.1.5	Respecto a la caracterización de la Temperatura máxima.....	156
10.1.6	Respecto a la caracterización de la Evapotranspiración Potencial .....	157
10.1.7	Respecto a la caracterización del Escurrimiento Superficial .....	157
10.1.8	Respecto a la caracterización de la oferta Hídrica Superficial .....	157
10.1.9	Respecto a la caracterización de eventos de sequias e inundaciones .....	158
10.1.10	Respecto a la caracterización perdida de suelo por erosión hídrica .....	159
10.2	Recomendaciones.....	159
	Bibliografía .....	160
11	Anexo .....	163
11.1	Anexo de Tablas .....	163
11.1.1	Curva hipsométrica .....	163
11.1.2	Altitud media de la cuenca.....	169
11.1.3	Pendiente media de la cuenca .....	175
11.2	Anexo de Figuras .....	184
11.2.1	Curva Hipsométrica .....	184
11.2.2	Polígono de Frecuencia .....	188
11.2.3	Perfil Longitudinal .....	190
11.3	Anexo de Mapas .....	194
11.3.1	Mapas temáticos.....	194
11.3.2	Mapas de parámetros morfométricos.....	202
11.3.3	Mapas de parámetros geomorfológicos .....	209
11.3.4	Mapas de Parámetros Hidrológicos .....	217
11.3.5	Mapas de Temperatura Mínima (°C) .....	220



11.3.6	Mapas de Temperatura Máxima.....	233
11.3.7	Mapas de Precipitación Media (mm) .....	247
11.3.8	Mapas de Evapotranspiración Potencial (mm) .....	260
11.3.9	Mapas de Escorrentía Superficial (mm) .....	273

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 3-1 Subsistemas de acceso al área de estudio .....	15
Tabla 3-2 Clasificación climática de los Distritos de Pampas y Santiago de Tucuma .....	16
Tabla 3-3 Zonas de vida de los Distritos de Pampas y Santiago de Tucuma.....	16
Tabla 3-4 Cobertura Vegetal de los Distritos de Pampas y Santiago de Tucuma .....	17
Tabla 4-1 Estaciones utilizadas para la caracterización hidrológica .....	22
Tabla 4-2 Estaciones con información de temperatura del aire .....	23
Tabla 4-3 Datos hidráulicos obtenidos en campo en el río Upamayo .....	26
Tabla 4-4 Planilla de aforo del río Upamayo .....	28
Tabla 4-5 Valores referenciales del Coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe.....	39
Tabla 5-1 Parámetros de formas de las Subcuencas de estudio .....	45
Tabla 5-2 Parámetros de relieve de las Subcuencas de estudio .....	49
Tabla 5-3 Parámetros de la red hidrográfica de las Subcuencas de estudio.....	54
Tabla 6-1 Test de Grubbs por estación .....	61
Tabla 6-2 Conformación de Grupos homogéneos .....	63
Tabla 6-3 Estaciones óptimas que conforman el Grupo 1 .....	64
Tabla 6-4 Estaciones óptimas que conforman el Grupo 2.....	65
Tabla 6-5 Estaciones óptimas que conforman el Grupo 3.....	66
Tabla 6-6 Precipitación anual de las estaciones del Grupo 1 .....	68
Tabla 6-7 Precipitación anual de las estaciones del Grupo 2.....	69
Tabla 6-8 Precipitación anual de las estaciones del Grupo 3.....	70
Tabla 6-9 Constantes de la regresión múltiple para la generación de mapas de Precipitación .....	74
Tabla 6-10 Coeficiente de determinación para el modelo de Precipitación .....	74
Tabla 6-11 Constantes de la regresión múltiple para la generación de mapas de Temperatura mínima.....	87
Tabla 6-12 Coeficiente de determinación para el modelo de Temperatura Mínima .....	87
Tabla 6-13 Constantes de la regresión múltiple para la generación de mapas de Temperatura máxima.....	98
Tabla 6-14 Coeficiente de determinación para el modelo de Temperatura Máxima .....	98
Tabla 6-15 Radiación solar extraterrestre en MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> (Allen et al., 1998).....	105
Tabla 7-1 Caudal promedio anual estimado por modelos en la Estación Yulapuquio.....	118
Tabla 7-2 Caudal promedio anual estimado por diferentes métodos.....	119
Tabla 7-3 Parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales subcuenca Anta .....	121



Tabla 7-4 Caudales característicos en año normal, año seco y año húmedo subcuenca Anta .....	121
Tabla 7-5 Caudales característicos para diferente persistencia de caudal subcuenca Anta .....	121
Tabla 7-6 Parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales subcuenca Corinto .....	123
Tabla 7-7 Caudales característicos en año normal, año seco y año húmedo subcuenca Corinto..	123
Tabla 7-8 Caudales característicos para diferente persistencia mensual subcuenca Corinto .....	123
Tabla 7-9 Parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales subcuenca Samerino .....	124
Tabla 7-10 Caudales característicos en año normal, año seco y año húmedo subcuenca Samerio .....	124
Tabla 7-11 Caudales característicos para diferente persistencia mensual subcuenca samerino ...	124
Tabla 7-12 Parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales subcuenca Upamayo ....	126
Tabla 7-13 Caudales característicos en año normal, año seco y año húmedo subcuenca Upamayo .....	126
Tabla 7-14 Caudales característicos para diferente persistencia mensual subcuenca Upamayo ..	126
Tabla 7-15 Parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales subcuenca Macas .....	127
Tabla 7-16 Caudales característicos en año normal, año seco y año húmedo subcuenca Macas.	127
Tabla 7-17 Caudales característicos para diferente persistencia mensual subcuenca Macas .....	127
Tabla 7-18 Parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales subcuenca Inico .....	129
Tabla 7-19 Caudales característicos en año normal, año seco y año húmedo subcuenca Inico....	129
Tabla 7-20 Caudales característicos para diferente persistencia mensual subcuenca Inico .....	129
Tabla 7-21 Parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales subcuenca Cuchicanha .....	130
Tabla 7-22 Caudales característicos en año normal, año seco y año húmedo subcuenca Cuchicanha .....	130
Tabla 7-23 Caudales característicos para diferente persistencia mensual subcuenca Cuchicanha .....	130
Tabla 8-1 Clasificación de sequía según SPI .....	133

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 Ubicación geográfica del Distrito de Pampas y Santiago de Tucuma .....	14
Figura 3-2 Subcuencas que conforman el distrito de Pampas y Santiago de Tucuma .....	18
Figura 3-3 Áreas de drenaje de las Subcuencas evaluadas .....	18
Figura 4-1 Cartas topográficas utilizadas para la delimitación del área de estudio .....	20
Figura 4-2 Esquema de ingreso de datos para interpolar.....	21
Figura 4-3 Longitud de las series de precipitación.....	22
Figura 4-4 Longitud de las series de Temperatura .....	23
Figura 4-5 Flujograma metodológico.....	25
Figura 4-6 Punto de Aforo en el río Upamayo .....	27
Figura 4-7 Metodología de interpolación de la variable temperatura del aire .....	35
Figura 4-8 Arquitectura del modelo lluvia escorrentía GR2m.....	40
Figura 6-1 Distribución temporal de la lluvia por estación en todo su periodo disponible .....	59
Figura 6-2 Diagrama de cajas de precipitación mensual por estación.....	60
Figura 6-3 Histograma de la precipitación mensual por estación.....	62
Figura 6-4 Dendograma con tres clúster .....	63
Figura 6-5 Agrupamiento por kmeans .....	63
Figura 6-6 Vector regional de la precipitación con las mejores estaciones del Grupo 1 .....	64
Figura 6-7 Análisis de doble masa de índices de precipitación para de las mejores estaciones del Grupo 1 .....	64
Figura 6-8 Vector regional de la precipitación con las mejores estaciones del Grupo 2 .....	65
Figura 6-9 Vector regional de la precipitación con las mejores estaciones del Grupo 2 .....	65
Figura 6-10 Vector regional de la precipitación con las mejores estaciones del Grupo 3 .....	66
Figura 6-11 Vector regional de la precipitación con las mejores estaciones del Grupo 3 .....	66
Figura 6-12 Precipitación media multimensual del período 1981-25 por estación .....	71
Figura 6-13 Gradiente pluviométrico a escala mensual.....	72
Figura 6-14 Gradiente pluviométrico a escala anual .....	72
Figura 6-15 Caracterización de la precipitación en el distrito de Pampas .....	75
Figura 6-16 Caracterización de la precipitación en el distrito de Santiago de Tucuma .....	76
Figura 6-17 Caracterización de la precipitación en la Subcuenca Anta .....	77
Figura 6-18 Caracterización de la precipitación en la Subcuenca Corinto.....	77
Figura 6-19 Caracterización de la precipitación en la Subcuenca Samerino.....	78



Figura 6-20 Caracterización de la precipitación en la Subcuenca Samerino.....	79
Figura 6-21 Caracterización de la precipitación en la Subcuenca Macas.....	80
Figura 6-22 Caracterización de la precipitación en la Subcuenca Inico.....	80
Figura 6-23 Caracterización de la precipitación en la Subcuenca Cuchicancha .....	81
Figura 6-24 Distribución temporal de la Temperatura Mínima por estación en todo su periodo disponible .....	82
Figura 6-25 Diagrama de cajas mensual de la temperatura mínima por estación.....	83
Figura 6-26 Histograma de la temperatura mínima por estación .....	84
Figura 6-27 Temperatura Minina media multimensual del periodo 1995-2015 por estación.....	85
Figura 6-28 Gradiente de la temperatura mínima mensual .....	86
Figura 6-29 Gradiente de la temperatura mínima anual .....	86
Figura 6-30 Caracterización de la Temperatura Mínima en el distrito de Pampas .....	88
Figura 6-31 Caracterización de la Temperatura Mínima en el distrito de Santiago de Tucuma.....	88
Figura 6-32 Caracterización de la Temperatura Mínima en la Subcuenca Anta .....	89
Figura 6-33 Caracterización de la Temperatura Mínima en la Subcuenca Corinto .....	90
Figura 6-34 Caracterización de la Temperatura Mínima en la Subcuenca Samerino .....	90
Figura 6-35 Caracterización de la Temperatura Mínima en la Subcuenca Upamayo .....	91
Figura 6-36 Caracterización de la Temperatura Mínima en la Subcuenca Macas .....	91
Figura 6-37 Caracterización de la Temperatura Mínima en la Subcuenca Inico .....	92
Figura 6-38 Caracterización de la Temperatura Mínima en la Subcuenca Cuchicancha.....	92
Figura 6-39 Distribución temporal de la Temperatura Máxima por estación en su periodo disponible .....	93
Figura 6-40 Diagrama de cajas mensual de la temperatura máxima por estación.....	94
Figura 6-41 Histograma de la Temperatura máxima mensual por estacion .....	95
Figura 6-42 Temperatura Máxima media multimensual del periodo 1995-2015 por estación.....	96
Figura 6-43 Gradiente de la temperatura Máxima a escala mensual.....	97
Figura 6-44 Gradiente de la temperatura Máxima a escala anual .....	97
Figura 6-45 Caracterización de la Temperatura Máxima en el distrito de Pampas .....	99
Figura 6-46 Caracterización de la Temperatura Máxima en el distrito de Santiago de Tucuma.....	99
Figura 6-47 Caracterización de la Temperatura Máxima en la Subcuenca Anta.....	100
Figura 6-48 Caracterización de la Temperatura Máxima en la Subcuenca Corinto .....	101
Figura 6-49 Caracterización de la Temperatura Máxima en la Subcuenca Samerino.....	101
Figura 6-50 Caracterización de la Temperatura Máxima en la Subcuenca Upamayo.....	102

Figura 6-51 Caracterización de la Temperatura Máxima en la Subcuenca Macas .....	102
Figura 6-52 Caracterización de la Temperatura Máxima en la Subcuenca Inico .....	103
Figura 6-53 Caracterización de la Temperatura Máxima en la Subcuenca Cuchicancha .....	103
Figura 6-54 Evapotranspiración media multimensual del periodo 1995-2015 por estación. ....	106
Figura 6-55 Caracterización de la Evapotranspiración en el distrito de Pampas.....	107
Figura 6-56 Caracterización de la Evapotranspiración en el distrito de Santiago de Tucuma .....	107
Figura 6-57 Caracterización de la Evapotranspiración en la Subcuenca Anta .....	108
Figura 6-58 Caracterización de la Evapotranspiración en la Subcuenca Corinto .....	109
Figura 6-59 Caracterización de la Evapotranspiración en la Subcuenca Samerino .....	109
Figura 6-60 Caracterización de la Evapotranspiración en la Subcuenca Upamayo .....	110
Figura 6-61 Caracterización de la Evapotranspiración en la Subcuenca Macas .....	111
Figura 6-62 Caracterización de la Evapotranspiración en la Subcuenca Inico .....	111
Figura 6-63 Caracterización de la Evapotranspiración en la Subcuenca Cuchicancha .....	112
Figura 7-1 Caracterización del Escurrimiento en la Subcuenca Anta .....	114
Figura 7-2 Caracterización del Escurrimiento en la Subcuenca Corinto .....	115
Figura 7-3 Caracterización del Escurrimiento en la Subcuenca Samerino .....	115
Figura 7-4 Caracterización del Escurrimiento en la Subcuenca Upamayo .....	116
Figura 7-5 Caracterización del Escurrimiento en la Subcuenca Macas .....	116
Figura 7-6 Caracterización del Escurrimiento en la Subcuenca Inico .....	117
Figura 7-7 Caracterización del Escurrimiento en la Subcuenca Cuchicancha.....	118
Figura 7-8 Caudal promedio anual en la línea base 1981-2015.....	119
Figura 7-9 Caudal y Precipitación anual a la salida de las subcuencas en estudio.....	120
Figura 7-10 Síntesis de los caudales generados en subcuenca Anta.....	121
Figura 7-11 Hidrograma de caudales medios mensuales generados en la subcuenca Anta.....	122
Figura 7-12 Síntesis de los caudales generados en la subcuenca Corinto .....	122
Figura 7-13 Hidrograma de caudales medios mensuales generados en la subcuenca Corinto .....	123
Figura 7-14 Síntesis de los caudales generados en la subcuenca Samerino.....	124
Figura 7-15 Hidrograma de caudales medios mensuales generados en la subcuenca Samerino..	125
Figura 7-16 Síntesis de los caudales generados en la subcuenca Upamayo.....	125
Figura 7-17 Hidrograma de caudales medios mensuales generados en la subcuenca Upamayo..	126
Figura 7-18 Síntesis de los caudales generados en la subcuenca Macas .....	127
Figura 7-19 Hidrograma de caudales medios mensuales generados en la subcuenca Macas .....	128
Figura 7-20 Síntesis de los caudales generados en la subcuenca Inico .....	128

Figura 7-21 Hidrograma de caudales medios mensuales generados en la subcuenca Inico .....	129
Figura 7-22 Síntesis de los caudales generados en la subcuenca Cuchicancha .....	130
Figura 7-23 Hidrograma de caudales medios mensuales generados en la subcuenca Cuchicancha .....	131
Figura 8-1 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI3 en la Subcuenca Anta.....	134
Figura 8-2 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI12 en la Subcuenca Anta...	134
Figura 8-3 Series de SPI3 en la Subcuenca Anta.....	134
Figura 8-4 Series de SPI12 en la Subcuenca Anta.....	135
Figura 8-5 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI3 en la Subcuenca Corinto	135
Figura 8-6 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI12 en la Subcuenca Corinto .....	136
Figura 8-7 Series de SPI3 en la Subcuenca Corinto .....	136
Figura 8-8 Series de SPI12 en la Subcuenca Corinto .....	136
Figura 8-9 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI3 en la Subcuenca Samerino .....	137
Figura 8-10 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI12 en la Subcuenca Samerino .....	137
Figura 8-11 Series de SPI3 en la Subcuenca Samerino .....	138
Figura 8-12 Series de SPI12 en la Subcuenca Samerino .....	138
Figura 8-13 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI3 en la Subcuenca Upamayo .....	139
Figura 8-14 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI12 en la Subcuenca Upamayo .....	139
Figura 8-15 Series de SPI3 en la Subcuenca Upamayo .....	139
Figura 8-16 Series de SPI12 en la Subcuenca Upamayo .....	140
Figura 8-17 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI3 en la Subcuenca Macas	140
Figura 8-18 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI12 en la Subcuenca Macas .....	141
Figura 8-19 Series de SPI3 en la Subcuenca Macas .....	141
Figura 8-20 Series de SPI12 en la Subcuenca Macas .....	141
Figura 8-21 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI3 en la Subcuenca Inico ..	142
Figura 8-22 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI12 en la Subcuenca Inico	142
Figura 8-23 Series de SPI3 en la Subcuenca Inico .....	143
Figura 8-24 Series de SPI12 en la Subcuenca Inico .....	143
Figura 8-25 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI3 en la Subcuenca Cuchicancha .....	144

Figura 8-26 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI12 en la Subcuenca Cuchicancha .....	144
Figura 8-27 Series de SPI03 en la Subcuenca Cuchicancha.....	144
Figura 8-28 Series de SPI12 en la Subcuenca Cuchicancha.....	145
Figura 8-29 Áreas potenciales a inundación .....	146
Figura 9-1 Evolución temporal de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Anta ..	149
Figura 9-2 Evolución temporal de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Corinto .....	150
Figura 9-3 Evolución temporal de la pérdida de suelo erosión hídrica en la subcuenca Samerino	151
Figura 9-4 Evolución temporal de la pérdida del suelo por erosión hídrica en la subcuenca Upamayo .....	151
Figura 9-5 Evolución temporal de la pérdida de erosión del suelo en la subcuenca Macas .....	152
Figura 9-6 Evolución temporal de la pérdida de erosión del suelo en la subcuenca Inico .....	153
Figura 9-7 Evolución temporal de la pérdida de erosión del suelo en la subcuenca Cuchicancha.	153



## RESUMEN

El estudio de caracterización hidrológica del distrito de Pampas y Santiago de Tucuma situadas en la provincia de Tayacaja y región Huancavelica, ha sido desarrollado en el marco del Programa presupuestal por resultados PPR089 "Degradación de suelos agrarios" a través de la Dirección de Hidrología del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI.

Dado el limitado conocimiento sobre la oferta hídrica en unidades hidrográficas como son las subcuencas, surge la necesidad de generar información de caudales a fin de contribuir en el proceso de elaboración de la zonificación agroecológica de los Distritos de Pampas y Santiago de Tucuma; así como contribuir con información de línea base para la gestión integrada del recurso agua.

Se ha generado información hidroclimática temporal y espacial a nivel de distrito y en siete subcuencas. En el distrito de Pampas se emplazan (4/7) parte de las subcuencas Anta de 13.53 km<sup>2</sup>, Corinto de 8.71 km<sup>2</sup>, Samerino de 13.85 km<sup>2</sup> y Upamayo de 151.17 km<sup>2</sup>; y en el distrito de Santiago de Tucuma (2/6), se ubica la subcuenca Cuchicancha de 31.56 km<sup>2</sup> e Inico de 16.53 km<sup>2</sup>. Cabe indicar que la subcuenca (1/7) Macas de 16.89 km<sup>2</sup> está comprendida en parte de los dos distritos. La discretización en subcuencas ha permitido generar información sobre los parámetros hidrogeomorfológicos y de caudales.

Los datos hidrometeorológicos evaluados corresponden a la red de estaciones terrenas del SENAMHI y la base de datos grilladas procesadas a escala nacional del índice estandarizado de precipitación y de pérdida de suelo por erosión hídrica elaborado por la Dirección de Hidrología y disponible en el periodo 1981-2015.

Se realizó procesos de control de calidad de datos a nivel de estación y se extrapoló al área de estudio, mediante la técnica de regresión lineal tomando como variable independiente a la elevación, longitud y latitud; todo ello bajo el soporte del sistema de información geográfica y el programa R. Asimismo, basado en el estudio de Caracterización hidrológica del Distrito de Huando y el uso del modelo GR2m bajo el supuesto de homogeneidad ha permitido transferir información de caudales a las siete subcuencas en estudio.

Entre los resultados hidroclimáticos se infiere que el distrito de Pampas presenta una precipitación anual de 737 mm, con módulos máximos en febrero de 125 mm y módulos mínimos en junio de 14 mm. A escala trimestral, el más húmedo es Diciembre-Enero-Febrero (DEF) y concentra el 47% de la precipitación anual y el trimestre más seco es Junio-Julio-Agosto (JJA) y concentra el 7% de la precipitación anual. Espacialmente la precipitación en el Distrito presenta un comportamiento creciente con la elevación y varía de 96 mm/año a 1095 mm/año. La evapotranspiración anual generada es de 1220 mm, con valores máximos en el mes de noviembre con 119 mm y con valores mínimos en el mes de junio con 83 mm. Espacialmente la evapotranspiración anual presenta una variabilidad comprendida entre 572 mm/año y 1421 mm/año.

En el distrito de Santiago de Tucuma se ha estimado una precipitación anual de 708 mm con módulos máximos en febrero de 122 mm y módulos mínimos en junio de 13 mm. A escala trimestral, el más húmedo es DEF y concentra el 48% de la precipitación anual y el trimestre más seco es JJA y concentra el 6% de la precipitación anual. Espacialmente la precipitación en el Distrito presenta un comportamiento creciente con la elevación y varía de 152 mm/año a 1056 mm/año. Se ha estimado una evapotranspiración anual de 1159

mm, con valores máximos en el mes de noviembre con 113 mm y con valores mínimos en el mes de junio con 83 mm. Espacialmente la evapotranspiración anual presenta una variabilidad comprendida entre 1009 mm/año y 1407 mm/año.

En relación a la oferta hídrica para la subcuenca Anta se ha estimado un caudal promedio anual de 0.104 m<sup>3</sup>/s correspondiente a un rendimiento hídrico 7.68 l/s\*km<sup>2</sup>; para la subcuenca Corinto se ha estimado un caudal promedio anual de 0.06 m<sup>3</sup>/s correspondiente a un rendimiento hídrico 7.46 l/s\*km<sup>2</sup>, para la subcuenca Samerino se ha estimado un caudal promedio anual de 0.104 m<sup>3</sup>/s correspondiente a un rendimiento hídrico 7.53 l/s\*km<sup>2</sup>; para la subcuenca Upamayo se ha estimado un caudal promedio anual de 1.15 m<sup>3</sup>/s. correspondiente a un rendimiento hídrico 7.70 l/s\*km<sup>2</sup> , para la subcuenca Macas se ha estimado un caudal promedio anual de 0.13 m<sup>3</sup>/s correspondiente a un rendimiento hídrico 7.58 l/s\*km<sup>2</sup> ; para la subcuenca Inico se ha estimado un caudal promedio anual de 0.11 m<sup>3</sup>/s correspondiente a un rendimiento hídrico 6.83 l/s\*km<sup>2</sup> y para la subcuenca Cuchicancha se ha estimado un caudal promedio anual de 0.23 m<sup>3</sup>/s correspondiente a un rendimiento hídrico 7.25 l/s\*km<sup>2</sup>.

En relación a los eventos históricos de sequía, la de mayor duración e impacto fue registrada en 1990, 1991 y 1992 y alcanzaron intensidades de moderada a severa; otra sequia de impactos regionales pero de menor escala fue la registrada el 2005 con intensidades de leve a moderada, en las siete subcuencas en estudio.

Respecto a la perdidas de suelo por erosión hídrica basado en el modelo RUSLE, en promedio, se ha determinado en todas las subcuencas tasas altas de erosión hídrica que corresponde a la categoría de muy grave, así tenemos que las subcuencas Cuchicancha e Inico son las que presentan mayor perdidas de suelo con 555.3 tn/ha/año y 665.50 tn/Ha/año respectivamente; y las subcuencas Macas y Upamayo son las que presentan menor perdida de suelo con 191.6 tn/Ha/año y 228.92 tn/Ha/año.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El Ministerio de Economía y Finanzas del Perú (MEF) desde el año 2008 inició una reforma en el proceso de Presupuesto Público basado en Programas Estratégicos en búsqueda de una nueva gestión presupuestal más eficiente basada en resultados. En esa dirección, en el 2011, el MEF fortaleció la reforma con la implementación de los Programas Presupuestales, metodología que se aplica progresivamente al proceso presupuestario y que integra la programación, formulación, aprobación, ejecución y evaluación del presupuesto, en una visión de logro de productos, resultados y uso eficaz y eficiente de los recursos del Estado a favor de la población.

En este contexto, el Ministerio de Agricultura y Riego en búsqueda de un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y en una de forma de articulación entre los sectores, presenta de manera conjunta con el SENAMHI para el ejercicio 2013 el Programa Presupuestal Multisectorial "Reducción de la Degradación de los Suelos Agrarios-PP089", el cual se encuentra enmarcado dentro de los Objetivos Nacionales y Sectoriales, contribuyendo con el incremento de la productividad, competitividad, sostenibilidad, inclusión y seguridad alimentaria del país. Esta articulación contribuirá al resultado final del país de lograr la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales del país y la diversidad biológica y genética con eficiencia, equidad y bienestar general. Cabe precisar que el Programa contribuye directamente con el Objetivo Nacional N° 7: Ambiente sostenible, seguridad energética y recursos naturales al servicio de la Nación, así como con el Objetivo N° 1 de la Agenda Nacional de Competitividad: Desarrollo empresarial, calidad y educación productiva. Este objetivo se logrará mediante la reducción de la degradación de los suelos aprovechados por los productores agrarios (agrícolas, pecuarios y forestales) fomentando su preservación y disponibilidad futura. Dado que el sector emplea el 57% de la superficie nacional, y que los niveles de erosión alcanzan al 99% de la superficie, existe una gran vulnerabilidad de este recurso limitado y escaso que requiere atención prioritaria.

El Programa busca superar el gran reto del país de asegurar la alimentación futura de miles de peruanos y así contribuir con un desarrollo sostenible, promoviendo un cambio en la conducta del Estado como facilitador de las políticas agrarias, articulando las intervenciones con otros sectores y en los tres niveles de gobierno, a través de la focalización a nivel de distritos (44) siguiendo el mismo criterio para la priorización de la población objetivo a nivel de departamentos (siete: Ancash, Ayacucho, Cajamarca, Huancavelica, Huánuco, Pasco y Puno). Es así, que el Servicio Nacional de Meteorología del Perú a través de la Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos en el 2014, realizó el Estudio "Caracterización hidrológica del distrito de Cutervo y en el 2015 el Estudio de Caracterización hidrológica del Distrito de Huando", para el 2016, ahora nominada como la Dirección de Hidrología (Decreto Supremo N° 003-2016 MINAM - Aprueban Reglamento de Organización y Funciones del SENAMHI); presenta el Estudio "Caracterización hidrológica del Distrito de Pampas y Santiago de Tucuma" ubicadas en la provincia Tayacaja en el departamento de Huancavelica.



## 1.2 Justificación

El Programa Presupuestal Multisectorial Reducción de la Degradación de los Suelos Agrarios - PP089, tiene como actividad la generación de información de levantamiento de suelos, de zonificación agroecológica, medición del deterioro del suelo, por lo complejo de esta actividad, para su planificación y ejecución se han dividido en tareas, como: la Generación de información de recursos naturales para la planificación y desarrollo de la tierra, inmerso en esta tarea se tiene la Caracterización agroclimática y Cuantificación de la oferta hídrica por sector de riego, en este marco se ha desarrollado el Estudio de Caracterización Hidrológica del distrito de Pampas y Santiago de Tucuma– Departamento de Huancavelica. Cabe mencionar que el distrito de Santiago de Tucuma ha sido creado con Ley N° 30445 el 29 de mayo de 2016, y para el desarrollo del presente estudio se tomado en consideración los límites territoriales publicados en la mencionada Ley.

El Estudio de caracterización hidrológica del Distrito de Pampas y Santiago de Tucuma, tiene por objetivo mostrar la oferta hídrica superficial a paso de tiempo mensual para el periodo 1981-2015; para ello se ha discretizado en siete unidades hidrográficas. Cuatro (4/7) de ellas se emplazan total y parcialmente en el distrito de Pampas y dos (2/7) en el Distrito de Santiago de Tucuma. La séptima subcuenca Macas (1/7) se ubica en parte de los dos distritos. Los caudales generados contemplan la evaluación de la información morfométrica y climática; y han sido validados con mediciones hidrométricas insitu que se realizaron en abril de 2016.

El Estudio de carácter científico, se realizó tomando como base otros estudios análogos elaborados por SENAMHI en otras regiones del país. La necesidad de contar con información hidroclimática a detalle en el ámbito distrital e hidrográfico ha inducido al SENAMHI a presentar sus productos de caracterización hidrológica a resoluciones espaciales más finas, teniendo un marco metodológico consistente y validado. La vasta información producida en este estudio constituye un valioso soporte técnico para la toma de decisiones relacionadas a la gestión de los recursos hídricos en el sector agricultura, así mismo permite mejorar el conocimiento de la hidrología regional y local como línea base; ello aportará información para la planificación y manejo integral a nivel de Subcuencas, así como orientar los planes de intervención según la disponibilidad hídrica y la necesidad del monitoreo de fuentes de agua.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

Generación de información hidroclimática de los distritos de Pampas y Santiago de Tucuma, que sirva de base para la zonificación agroecológica.

### 1.3.2 Objetivo Específicos

- ✓ Delimitar las unidades hidrográficas que abarcan los distritos de Pampas y Santiago de Tucuma
- ✓ Determinar los parámetros morfométricos, geomorfológicos e hidrológicos de las unidades hidrológicas emplazadas en los distritos de Pampas y Santiago de Tucuma
- ✓ Caracterizar espacial y temporalmente la precipitación y temperatura del aire en cada unidad hidrográfica de análisis; y a escala distrital.

- ✓ Caracterizar espacial y temporalmente de la evapotranspiración potencial en cada unidad hidrográfica de análisis y a escala distrital.
- ✓ Generar información de escurrimiento superficial a nivel de subcuencas
- ✓ Estimar los caudales medios mensuales para condiciones, húmedas, normal, secas, y para diferentes niveles de persistencia en la salida en cada una de las Subcuencas en estudio.
- ✓ Determinar porcentaje de áreas afectadas por sequías para cada una de las unidades hidrológicas emplazadas en los distritos de estudio.
- ✓ Estimar áreas potenciales de inundación
- ✓ Evaluar la pérdida de suelo por erosión hídrica a nivel de subcuencas

#### 1.4 Alcances

El presente estudio está constituido por un Documento Técnico acompañado de un Anexo, en el primero se presenta la caracterización de la precipitación, temperatura del aire, evapotranspiración, a escala distrital y para las siete Subcuencas; así como la caracterización del escurrimiento superficial método Budyko, caudales, porcentaje de área afectada por sequía y pérdida de erosión hídrica a nivel de subcuencas en la línea base 1981-2015 (35 años) y en el segundo se presenta mapas temáticos y climáticos en formato A3.

El estudio presenta la caracterización hidroclimática de los distritos Pampas y Santiago de Tucuma; representativa de la línea base de 1981-2015 (35 años) a escala temporal y espacial de alcance mensual y anual; y para las cada una de las siete unidades hidrológicas que se emplazan en los distritos en estudio.

La información climática elaborada es en formato raster de 10 m de resolución las mismas que han sido generadas en base a un modelo de regresión que relaciona la altura, longitud y altitud. Cabe indicar que el modelo digital del terreno fue proveído por el Ministerio de Agricultura a una resolución de 10 m.

La información de caudales generados es de escala mensual y anual; se basó en el modelamiento hidrológico matemático GR2m utilizada para la desagregación mensual y por el método de transposición hidrométrica para la generación de escala anual. Se presenta módulos asociados a años secos, normales y húmedos; y para diferentes niveles de persistencia (50%, 75%, 80% y 90%), así como caudales en eventos El Niño y La Niña, esta información es importante principalmente, para la planificación del aprovechamiento hídrico de las siete Subcuencas en estudio, siendo soporte para la toma de decisiones; así como para implementar acciones sobre protección de los recursos Hídricos debido a que la demanda de este recurso que van en orden creciente.

Así mismo, se presenta las características de las deficiencias hídricas en el periodo 1981-2015, basados en el índice estandarizado de precipitación (SPI) a escala de 3 y 12 meses analizados en los meses de marzo y agosto respectivamente. También se muestra áreas potenciales a inundación basado en un método indirecto, como es el índice de inundación (Uribe-Alcántara et. Al. 2010); y la estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica por método USLE.

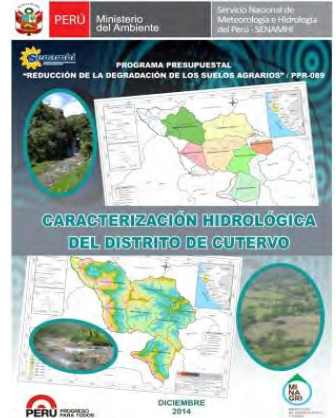
## **CAPÍTULO II**

### **ESTUDIOS DE REFERENCIA**

## 2 ESTUDIOS DE REFERENCIA

Los estudios realizados sobre caracterización hidroclimática en el marco Programa Presupuestal Multisectorial “Reducción de la Degradación de los Suelos Agrarios - PP089” que el SENAMHI viene elaborando se iniciaron el 2014 y a la fecha se tiene un total de 03 estudios y los alcances de los mismos se muestra a continuación:

SENAMHI – Ministerio de Agricultura, 2014 en el marco del Programa Presupuestal 089 Reducción de la Degradación de los Suelos Agrarios ha elaborado el Estudio de Caracterización hidrológica del distrito de Cutervo, ubicado en la Provincia de Cutervo y departamento de Cajamarca, tiene por objetivo mostrar la oferta de agua superficial en años secos, húmedos, normales y a diferentes niveles de persistencia; de siete Subcuencas que son parte total o parcial del distrito, basado en el modelamiento matemático que considera el comportamiento temporal y espacial de la precipitación y evapotranspiración; así como las características morfométricas de cada unidad hidrográfica. La generación de caudales es validada con mediciones hidrométricas de campo. Este estudio es a paso de tiempo mensual correspondientes a un periodo del orden de 30 años (Unesco, 1982) y la información base de la cartografía climática proviene de los registros puntales de estaciones meteorológicas del SENAMHI que han sido sometidas a un proceso de control de calidad ello ha permitido elaborar mapas climáticos con información raster de 10 m de resolución aplicando técnicas de interpolación geo estadísticas.



En esta línea el año 2015, se desarrolló el Estudio “Caracterización hidrológica del Distrito de Huando, en la Provincia de Huancavelica y departamento de Huancavelica” y para el año en curso, 2016 se presenta el Estudio “Caracterización hidrológica del Distrito de Pampas y Santiago de Tucuma ubicados en la Provincia de Tayacaja y departamento de Huancavelica. En este último se ha incorporado información sobre las características de la deficiencia hídrica en el periodo de estudio así como la identificación de zonas propensas a inundación, basados en el análisis del SPI e índice de inundación ambos de enfoque climático regional.



Cabe indicar que los tres Estudios, están compuestos por un Anexo de Mapas con información temática y climática donde se representa la variabilidad espacial de la hidroclimatología a escala distrital, basado en modelos de regresión que toman en cuenta la información del modelo digital del terreno de resolución de 10 m proporcionados por el Ministerio de agricultura; así como las imágenes de satélite RapidEye que tienen resolución fina de 5 m, así como la información climática histórica proveniente del Banco de datos de SENAMHI.

Dado que el distrito de Pampas y Santiago de Tucuma hidrológicamente se emplaza en la cuenca del río Mantaro que pertenece a la región hidrográfica del Amazonas, a continuación se citan los alcances de los diversos estudios desarrollados con enfoque hidroclimático en esta cuenca.

SENAMHI, 2011 elaboró el Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro, en el marco del proyecto de adaptación al impacto del retroceso acelerado de glaciares en los Andes Tropicales (PRAA), entre los resultados obtenidos muestran el comportamiento espacial de la precipitación en la cuenca, refleja dos hechos relevantes: a) el ingreso de vientos cálidos y húmedos por la vertiente oriental de la cuenca y b) la fuerte dependencia con la topográfica; para el conjunto de la cuenca, la precipitación total anual media es de 775 mm. Las lluvias ocurren entre setiembre y abril que representan el 98% del acumulado anual. El 66% de estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio acumula totales anuales de precipitación por encima de 775 mm y el 3% de estas recibe entre 1000 a 1300 mm por año; estos totales anuales elevados se registran principalmente en los sectores más altos de la cuenca (sector noroccidental) donde los acumulados son del orden de 1200 mm al año (entre Marcapomacocha y Yantac), mientras que en los territorios bajos de la cuenca o selva baja alcanzan acumulados cercanos a los 1600 mm al año. Por el contrario, en el sector centro sur de la cuenca (entre Luricocha, Pampas, Wayllapampa y Ayacucho) recibe totales anuales muy próximos a los 560 mm; en relación a la temperatura del aire indican que existe fuertes contrastes que van desde cálidos en la selva baja, templados en el valle y los fríos en la alta montaña. Las temperaturas máximas y mínimas anuales en la cuenca oscilan entre 18° C y 4° C, respectivamente, mientras que la temperatura media anual es de aproximadamente 10° C. La temperatura mínima del aire presenta valores más bajos entre junio y agosto, con valores medios a nivel de cuenca del orden 1° C, mientras que los valores más altos se registran entre diciembre y febrero, siendo del orden de 5° C. La temperatura máxima del aire presenta los valores más bajos en verano del orden de 17° C en promedio, mientras que los valores más altos se dan en primavera y son del orden de 18° C. localmente, la temperatura máxima de los territorios bajos de la cuenca o selva baja exhibe valores del orden de 28° C, en el valle de 19° C, en sector centro sur es de 24° C, mientras que en las partes altas de la cuenca los valores bordean los 11° C.

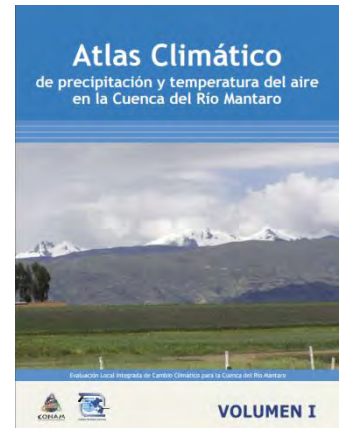


ANA, 2010. Elaboró la evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Mantaro, en la jurisdicción de la administración local de agua Mantaro (cuencas Yauli, Yacus, Achamayo y Shullcas), concluye que la cuenca en estudio presentan fuertes déficit estacionales en el periodo julio-octubre cuyas disponibilidades no cubren requerimientos de uso poblacional y agrícola, sin embargo existe un alto potencial de regulación que debe ser analizada. La cuenca del río Yauli (periodo 1965-2005), presenta un caudal promedio multianual de 7.47 m<sup>3</sup>/s variando entre 15.32 m<sup>3</sup>/s en el mes de marzo y de 3.76 m<sup>3</sup>/s en el mes de julio. En la cuenca del río Yacus y Achamayo-sector Ingenio, el primero presenta un promedio multianual (periodo 1988-2008) de 3.11 m<sup>3</sup>/s variando entre 7.82 m<sup>3</sup>/s en el mes de marzo y de 0.54 m<sup>3</sup>/s en el mes de agosto; y la segunda presenta un promedio multianual (periodo 1989-2008) de 3.86 m<sup>3</sup>/s variando entre 6.61 m<sup>3</sup>/s en el mes de marzo y de 0.76 m<sup>3</sup>/s en el mes de agosto y en la cuenca del río Shullcas, el promedio multianual (periodo 1985-2009) se encuentra en el orden de los 3.16 m<sup>3</sup>/s variando entre 8.03 m<sup>3</sup>/s en el mes de febrero y de 1.21 m<sup>3</sup>/s en el mes de agosto.





IGP, 2005 Elaboró el Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro, en el marco del Programa de fortalecimiento de capacidades nacionales para manejar el impacto del cambio climático y la contaminación del aire (PROCLIM), con el fin de generar información sobre los posibles impactos en la cuenca ante el cambio climático, para el cual desarrolló tres volúmenes de estudios orientados a mejorar la toma de decisiones políticas de planificación. El Volumen I marca el punto de inicio para posteriores estudios sobre variabilidad climática y para estudios de escenarios climáticos futuros. El Volumen II, Diagnóstico de la cuenca del Mantaro bajo la visión del cambio climático muestra información sobre la variabilidad climática interanual e identifica áreas vulnerables al cambio climático en la cuenca y genera escenarios climáticos para los años 2025 y 2050. El Volumen III, Vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático y medidas de adaptación en la cuenca del río Mantaro comprende el tema de variabilidad climática como principal riesgo en los sectores de hidroenergía, agrosilvopastoril y salud; así como su capacidad de respuesta, formulándose medidas de adaptación a ser incorporadas en los planes de desarrollo locales y regionales.



## **CAPÍTULO III**

### **DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

### 3 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

#### 3.1 Ubicación geográfica

##### 3.1.1 Distrito de Pampas

El Distrito de Pampas, se encuentra al suroeste de la Provincia de Tayacaja y Departamento de Huancavelica, ocupa un sector de los Andes Centrales del País.

Pampas es uno de los 17 distritos que conforman la Provincia de Tayacaja. El distrito de Pampas alberga, a la ciudad del mismo y es la capital de la provincia Tayacaja. La capital distrital se localiza a 12° 23'42 de latitud sur y 74°52' 02 de longitud oeste y a una altitud de 3276 m.s.n.m.

Altitudinalmente, se emplaza entre 2675 m.s.n.m. Con encuentro con el río Huanchuy hacia el norte del distrito, y la parte más alta a 4500 m.s.n.m. En el Cerro Yanapadre y Toro Huaycuna.

El Distrito de Pampas limita:

Por el Norte : Con el Distrito de Santiago de Tucuma

Por el Sur : Con los distritos de Acoria

Por el Este : Con los Distritos de Daniel Hernández y Colcabamba.

Por el Oeste : Con los Distritos de Ahuaycha y Huaribamba.

La extensión territorial del distrito es de 74.79 km<sup>2</sup> que equivale al 2% de la superficie total de la Provincia de Tayacaja (3724.56 km<sup>2</sup>, extraído del estudio de caracterización agroclimática del departamento de Huancavelica SENAMHI, 2015).

##### 3.1.2 Distrito de Santiago de Tucuma

El Distrito de Santiago de Tucuma fue creado con LEY N° 30445 el 29 de mayo de 2016, se encuentra ubicado al suroeste de la Provincia de Tayacaja y Departamento de Huancavelica.

Santiago de Tucuma es uno de los 17 distritos que conforman la Provincia de Tayacaja. La capital distrital es Santiago de Tucuma.

Altitudinalmente, el Distrito se emplaza entre 2050 m.s.n.m. y 4375 m.s.n.m.

El Distrito de Santiago de Tucuma limita:

Por el norte: limita con el distrito de Huaribamba, este límite se inicia en la desembocadura del río Huancachaca en la quebrada Huacclas, prosige por el cauce de la quebrada Huacclas hasta la desembocadura de la quebrada Posojoy, sigue en dirección a la desembocadura de la quebrada Allcoyoc en la quebrada Huacclas, el límite sigue en dirección a la desembocadura de la quebrada Pungura hasta alcanzar la desembocadura de la quebrada Imico en el curso medio del río Huanchuy punto de límite entre los distritos de Huaribamba y Daniel Hernández.

Por el este, limita con el distrito de Daniel Hernández, el límite se inicia en la desembocadura de la quebrada Imico en el curso medio del río Huanchuy, punto de límite entre los distritos de Huaribamba y Daniel Hernández, continúa en dirección sur por el cauce de la quebrada Imico hasta la desembocadura de una quebrada sin nombre, continúa por el cauce de la quebrada Imico, continúa en dirección sur y asciende por las

estribaciones del cerro Yana Chaca hasta alcanzar la cumbre del cerro Yana Chaca, prosigue en dirección a la cumbre del cerro Rayusca, continua por las estribaciones del mismo cerro, descendiendo hasta el cauce de la quebrada Macas, punto de límite entre los distritos de Daniel Hernandez y Pampas.

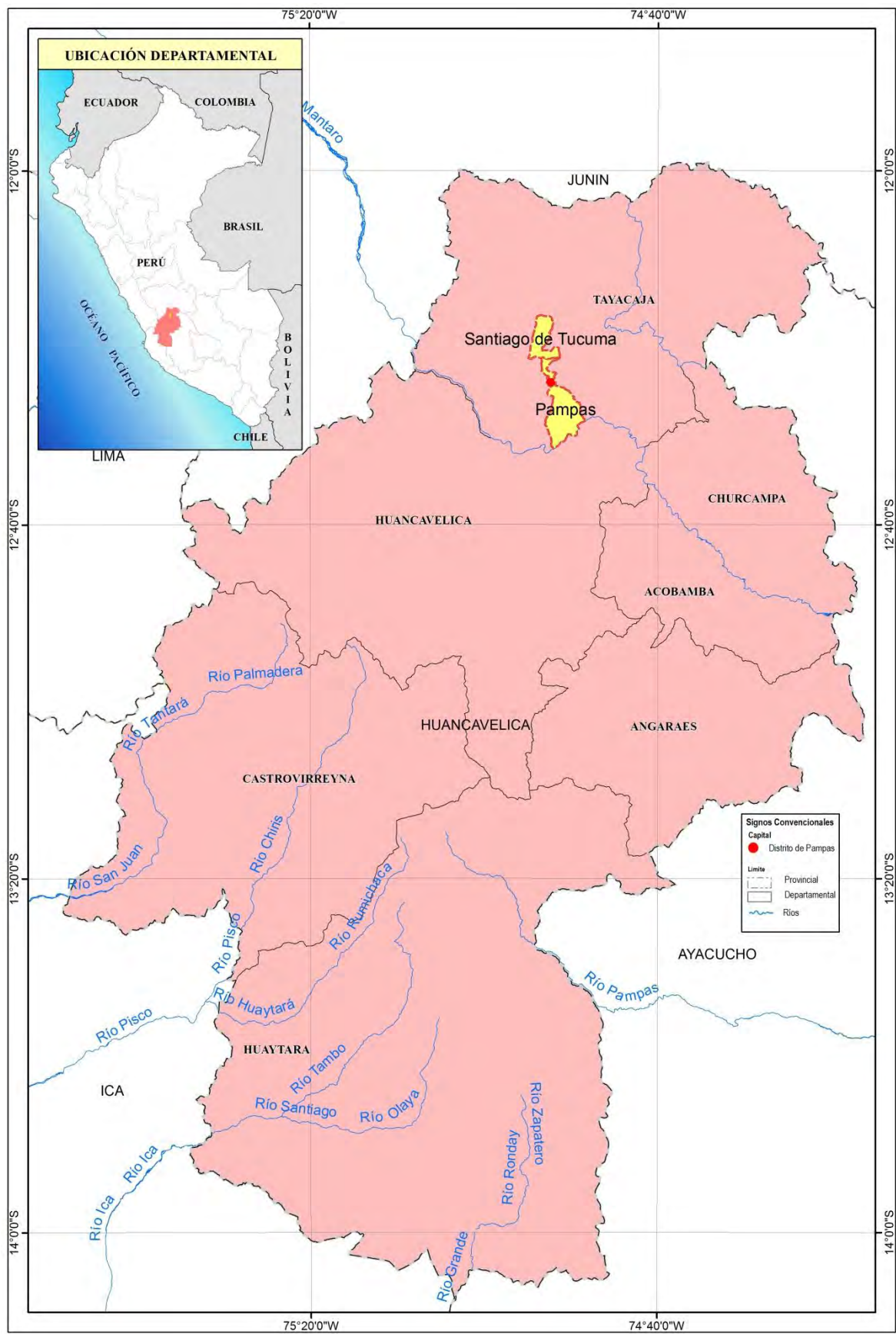
Por el sur, limita con los distritos de Pampas y Ahuaycha, el límite inicia en el cauce de la quebrada Macas, punto de límite entre los distritos de Daniel Hernandez y Pampas, el límite continua por el cauce de la quebrada Macas hasta la desembocadura de una quebrada sin nombre en la quebrada Macas, continua para ascender por las estribaciones del cerro Sequespere hasta la cota de 4388 msnm, punto de límite entre el distrito de Pampas con el distrito de Ahuaycha, continua por las cumbres del mismo cerro hasta alcanzar la altura de la naciente de una quebrada sin nombre, divisoria de aguas de dos quebradas sin nombre, divisoria de aguas de dos quebradas sin nombre.

Por el oeste, limita con los distritos de Ahuaycha y huaribamba, el límite se inicia en el punto de coordenadas UTM 509 195 m E y 8 634 431 m N; continua por la cumbre de un cerro sin nombre, entre las divisorias de aguas de dos quebradas sin nombres, el límite continua por las estribaciones de un cerro sin nombre, para descender hasta la confluencia de las quebradas sin nombre, límite entre los distritos de Ahuaycha y Huaribamba; continua por el cauce de una quebrada sin nombre hasta la desembocadura en el río Huacachaca, nacientes de la quebrada Huaclas, punto de inicio de la presente memoria descriptiva que cierra el límite del distrito de Santiago de Tucuma

La extensión territorial del distrito Santiago de Tucuma es de 34.05 km<sup>2</sup> equivalente al 0.9% de la superficie total de la Provincia de Tayacaja. Cabe indicar que este Distrito se ubica hacia el norte del Distrito de Pampas.

*(Ver ANEXO -MAPAS-Mapa N° T-01 Mapa base).*

La Figura 3-1 muestra la ubicación geográfica de los distritos de Pampas y Santiago de Tucuma en el ámbito geográfico de la provincia de Tayacaja y departamento de Huancavelica.



**Figura 3-1 Ubicación geográfica del Distrito de Pampas y Santiago de Tucuma**

*Fuente: Elaboración propia*



### 3.2 Accesibilidad y vías de comunicación

A pesar de que la provincia de Tayacaja pertenece a la región Huancavelica tiene como centro de gravedad a la ciudad de Huancayo (en la región Junín) y se encuentra comunicada con cuatro subsistemas que se indican en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1 Subsistemas de acceso al área de estudio**

Subsistema	Tipo de vía	Enlaza de a	Destino	Ejes vecinales
<b>Huancayo – Pampas - Colcabamba</b>	Vía firmada	Distritos de Pampas, Ahuaycha, Acraquia, Daniel Fernandez y Colcabamba	Ayacucho	Pampas - Mariscal Cáceres –Salcabmaba Pampas -Mariscal Cáceres –Quishuar Pampas -Mariscal Cáceres -Churcampa
<b>Huancayo-Ñahuinpuquio-Acostambo-Izcuchaca-Anco-Mayocc</b>	Vía Mixta	Distritos de Ñahuinpuquio, Acostambo, Izcuchaca y los centros poblados de Mejorada, Quichuas, Anco y Mayocc	Ayacucho	Mantacra-Viñas-Pampa Acostambo-Acraquia-Ahuaycha-Pampas Quichuas-Yanayaco-Pampas
<b>Pucara (provincia de Huancayo)-Pazos-Huaribamb</b>	Vía Mixta	Pueblos Pazos, Huaribamba y otros centros poblados	Huancayo	-
<b>Huancayo-San Antonio de Acobamba-Surcubamba-Huachocolp y Tintaypunco</b>	Vía Mixta	Articula todos los centros poblados de los distritos del nororiente de Tayacaja y enlaza a los pueblos de Huari, Tranca Pampa, San Antonio de Acombamba, Matibamba, Surcubamba.	San Marcos de Rocchac y Salcahuasi	-

Fuente: [http://www.munitayacaja.gob.pe/pat2/1\\_PAT\\_Version%20en%20consulta.pdf](http://www.munitayacaja.gob.pe/pat2/1_PAT_Version%20en%20consulta.pdf)

### 3.3 Clasificación climática

Para la clasificación climática de los Distritos en estudio se ha utilizado como la base el clasificación climática a escala nacional elaborado por SENAMHI (1988) y digitalizado en un entorno SIG (sistemas de información geográfica) por el SENAMHI en 1994, ésta clasificación ha sido elaborada considerando factores que condicionan de manera preponderante el clima, como la latitud, la altitud, la cordillera de los Andes, la corriente Costera Peruana (de aguas frías), el anticiclón del Pacífico sur y la continentalidad. La información base de esta clasificación se sustenta en datos meteorológicos de veinte años (1965-1984), a partir de la cual se formularon los índices climáticos basados en el Sistema de Clasificación de Climas de Warren Thornthwaite.

La Tabla 3-2 muestra los tipos de climas que caracterizan al distrito de Pampas y Santiago de Tucuma, el cual muestran dos tipos de clima, con importante predominancia del Tipo lluvioso en ambos casos.

(Ver ANEXO -MAPAS-Mapa N° T-02 Mapa de Clasificación climática).

**Tabla 3-2 Clasificación climática de los Distritos de Pampas y Santiago de Tucuma**

Nº	Descripción	Codificación	Área	
			km²	(%)
Distrito de Pampas				
1	Semiseco, otoño seco, invierno seco, Templado y húmedo	C(o,i) B'2 H3	12.71	16.99
2	Lluvioso, otoño seco, invierno seco, frío y húmedo	B(o,i) C' H3	62.08	83.00
Total General			74.79	100
Distrito Santiago de Tucuma				
1	Muy lluvioso, precipitación abundante en todas las estaciones, Templado y húmedo	A(r) B'2 H3	15.21	45.00
2	Lluvioso, otoño seco, invierno seco, frío y húmedo	B(o,i) C' H3	18.84	55.00
	Total General		34.05	100

Fuente: Clasificación climática SENAMHI 1988 y digitalizado en 1994

### 3.4 Características biofísicas

#### 3.4.1 Zonas de vida

La Tabla 3-3 muestra los tipos de zonas de vida que caracterizan al distrito de Pampas y Santiago de Tucuma. El primero presenta 8 tipos, la de mayor extensión espacial es el tipo bosque seco montano bajo subtropical (bs-MBS) que abarca el 33.73% de la superficie total del distrito y el que presenta menor extensión espacial es el tipo bosque seco premontano tropical el 0.15% de la superficie total del distrito. El segundo presenta 4 tipos, la de mayor extensión es el tipo bosque húmedo montano tropical abarca el 50.87% de la superficie del distrito y la de menor extensión es el tipo bosque seco premontano tropical y está comprendida en el 1.15% de la superficie del distrito.

(Ver ANEXO -MAPAS-Mapa N° T-03 Mapa de Zonas de vida).

**Tabla 3-3 Zonas de vida de los Distritos de Pampas y Santiago de Tucuma**

Nº	Descripción	Codificación	Área	
			km²	(%)
Distrito de Pampas				
1	bosque húmedo Montano Tropical	bh - MT	8.91	11.91
2	bosque húmedo Montano Subtropical	bh - MS	20.11	26.89
3	bosque seco Montano Bajo SubTropical	bs - MBS	25.23	33.73
4	bosque seco Montano Bajo Tropical	bs - MBT	0.11	0.15
5	estepa Montano Subtropical	e - MS	2.42	3.23
6	estepa espinosa Montano Bajo Subtropical	ee - MBS	1.33	1.78
7	paramo muy húmedo Subalpino Subtropical	pmh - SaS	15.49	20.72
8	paramo pluvial Subalpino Tropical	pmh - SaT	1.18	1.58
Total General			74.79	100
Distrito Santiago de Tucuma				
1	bosque seco Premontano Tropical	bs - PT	0.39	1.15
2	bosque húmedo Montano Tropical	bh - MT	17.32	50.87
3	bosque seco Montano Bajo Tropical	bs - MBT	8.49	24.93
4	paramo pluvial Subalpino Tropical	pmh - SaT	7.85	23.05
	Total General		34.05	100

Fuente: PLANGRACC, 2012

### 3.4.2 Cobertura vegetal

La Tabla 3-4 muestra los tipos de cobertura vegetal que caracterizan al distrito de Pampas y Santiago de Tucuma. El primero presenta tres tipos de cobertura vegetal, la más predominante es la compuesta por matorrales y cultivos agropecuarios y abarca el 84.12% de su superficie total, y la que presenta menor extensión espacial es el tipo cultivos agrícolas de 1.58% de la superficie total del distrito. El segundo presenta dos tipos de cobertura de tipo de matorrales que predomina en el distrito abarcando el 82.64% de su superficie y de césped de puna que abarca 16.85% de la superficie del distrito.

(Ver ANEXO -MAPAS-Mapa N° T-04 Mapa de Cobertura vegetal).

**Tabla 3-4 Cobertura Vegetal de los Distritos de Pampas y Santiago de Tucuma**

Nº	Descripción	Codificación	Área	
			km²	(%)
Distrito de Pampas				
1	Pajonal/Césped de puna	Pj/Cp	10.70	14.30
2	Cultivos agrícolas	Cua	1.18	1.58
3	Matorrales/Cultivos agropecuarios	Ma/Cuap	62.91	84.12
Total General			74.79	100
Distrito Santiago de Tucuma				
1	Pajonal/Césped de puna	Pj/Cp	5.91	16.85
2	Matorrales/Cultivos agropecuarios	Ma/Cuap	28.14	82.64
	Total General		34.05	100

Fuente: PLANGRACC, 2012

### 3.5 Sistema Hidrográfico

El distrito de Pampas, presenta un sistema de drenaje compuesto por ríos, manantiales, puquiales y quebradas que desembocan al río Mantaro. El río Upamayo es la fuente más importante que cursa por el distrito, las otras fuentes son quebradas como: Anta (13.53 km<sup>2</sup>), Corinto (8.71 km<sup>2</sup>), Samerino (13.85 km<sup>2</sup>) y Macas (16.89 km<sup>2</sup>), de esta última solo 9.39 km<sup>2</sup> de su superficie se emplaza en el distrito.

El río Upamayo, nombre quechua que se traduce como río silencioso. Su recorrido empieza en las alturas del cerro Matacencca, recorre los distritos de Acraquia, Ahuaycha, Pampas y Daniel Hernández desembocando en este último sobre el río Mantaro, lugar donde este cambia de curso para dirigirse al norte. Tiene como afluentes a las quebradas: Llamacancha, Machuhuasi, Lindahuayjo, Yanahuayjo, Tablahuayjo y Chinchihuayjo.

El distrito de Santiago de Tucuma, presenta un sistema de drenaje compuesto por manantiales, puquiales y quebradas que también desembocan al río Mantaro. Las quebradas identificadas en el distrito son: Inico (16.53 km<sup>2</sup>), Cuchicancha (31.56 km<sup>2</sup>), y Macas (16.89 km<sup>2</sup>), de esta última solo 7.5 km<sup>2</sup> de su superficie se emplaza en el distrito. Cabe mencionar que la quebrada Cuchicancha y Inico desembocan por su margen derecho al río Huanchuy y la quebrada Macas desemboca en su margen izquierdo del río Upamayo, y; estos los ríos Huanchuy y Upamayo terminan desembocando en el río Mantaro. (Ver ANEXO -MAPAS-Mapa N° T-05 Mapa Hidrológico).

La Figura 3-2 y 3-3 muestra las áreas de drenaje de las siete Subcuencas en estudios, estas se emplazan parcial y total en el distrito Pampas y Santiago de Tucuma; como se puede observar la de mayor extensión es la Subcuenca Upamayo con 151.17 km<sup>2</sup> y la de menor extensión es la Subcuenca Corinto con 8.71 km<sup>2</sup>.

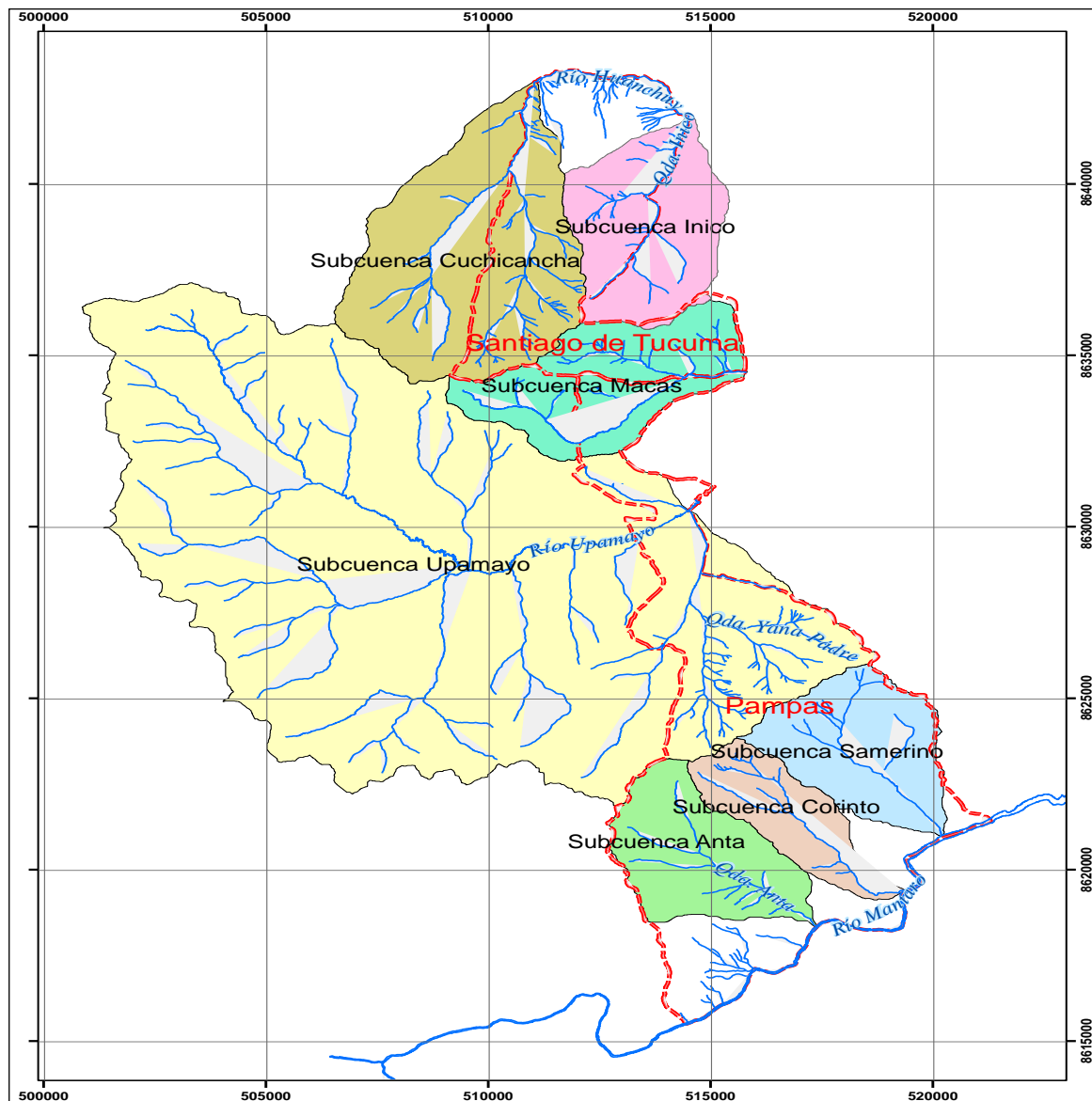


Figura 3-2 Subcuencas que conforman el distrito de Pampas y Santiago de Tucuma

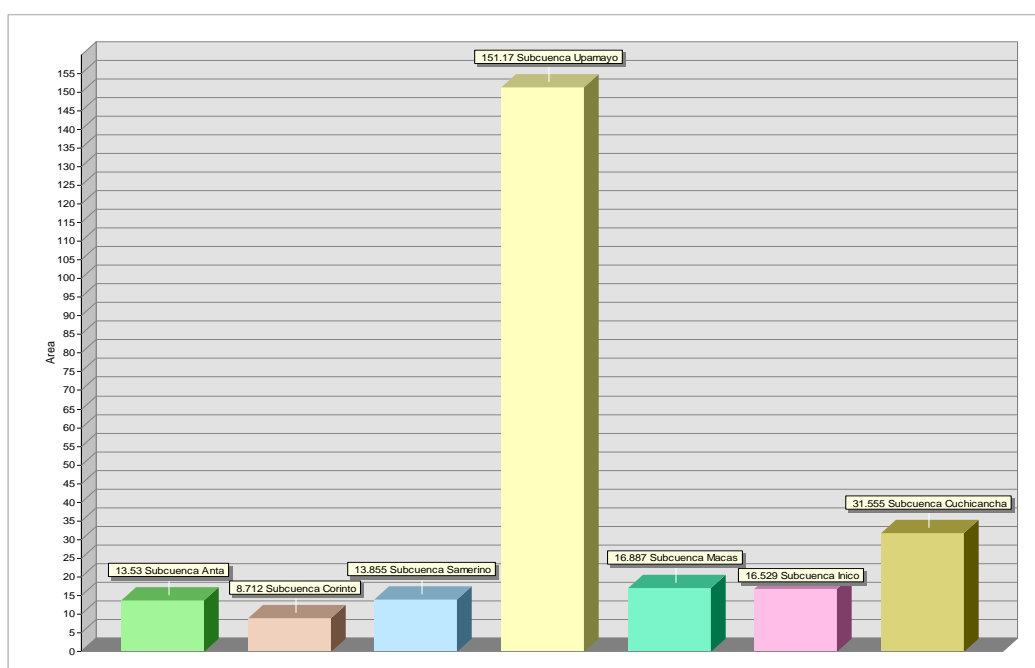


Figura 3-3 Áreas de drenaje de las Subcuencas evaluadas

## **CAPÍTULO IV**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

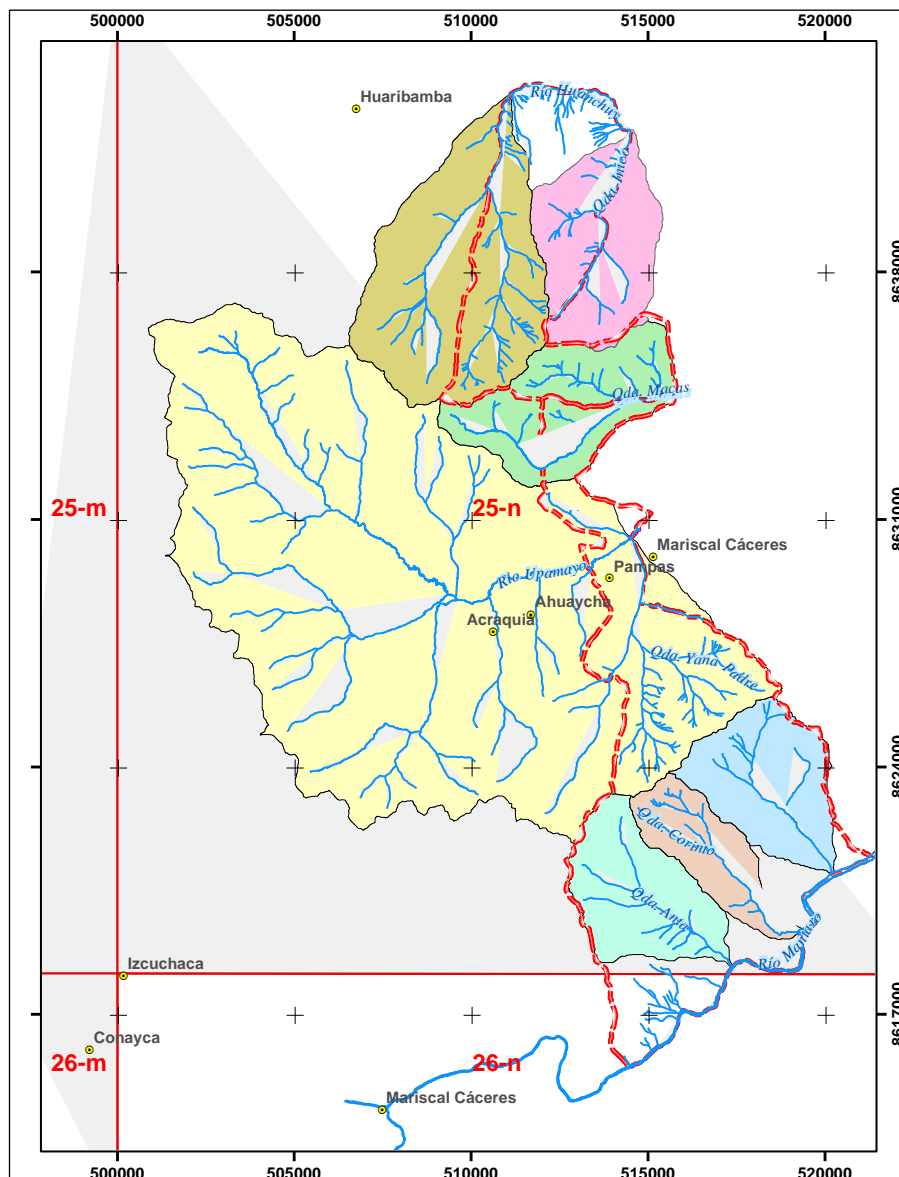
## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

## 4.1 Materiales

#### 4.1.1 Información cartográfica

- ✓ Imágenes RapidEye de 5 m de resolución, archivos vectoriales de ríos y límite del ámbito geográfico de los distritos de Pampas y Santiago de Tucumán elaborado por el Minagri, 2016.
- ✓ Información digital de las cartas Topográficas de 1/100000 elaborado por el IGN (Instituto geográfico Nacional). Hojas 25 m - Huancayo, 25 n - Pampas, 26 m-Conayca y 26 n - Huancavelica.
- ✓ Modelo de elevación del terreno de 10 m de resolución y límites del distrito en formato shp; elaborado por el Ministerio de agricultura, 2016.

La Figura 4-1 muestra la distribución cartografía codificada por el IGN y evaluada para fines del presente estudio.



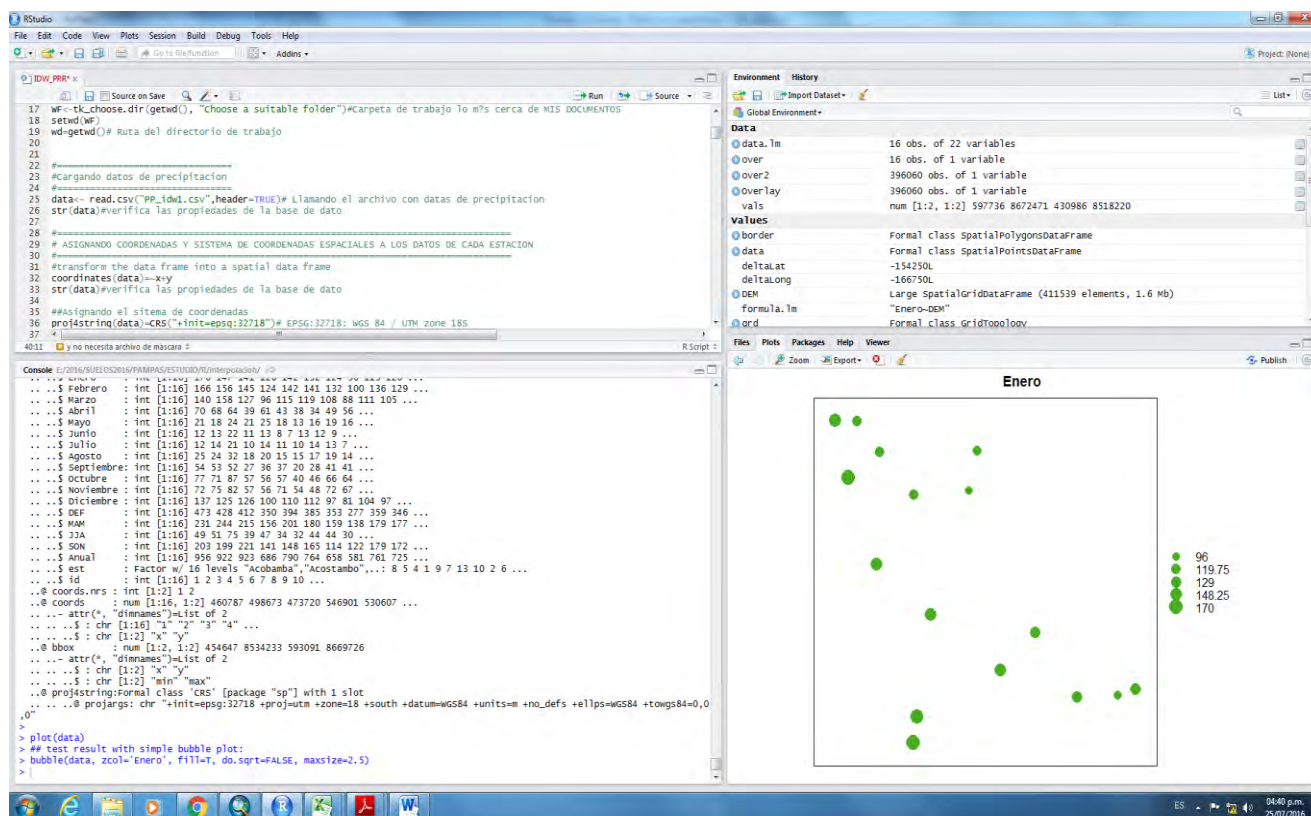
**Figura 4-1 Cartas topográficas utilizadas para la delimitación del área de estudio**

Fuente: Elaboración propia

### 4.1.2 Programas Informáticos

Para el procesamiento de los datos se utilizaron:

- ✓ Programa R, es libre sin costo, y está disponible para varias plataformas (Windows, Mac OS, Linux) bajo los términos de la Licencia Pública General GNU (GNU-GPL, por sus siglas en inglés; ver <http://www.r-project.org/Licenses/GPL-3>). Se utilizó principalmente el paquete Gstat, que es un paquete para el modelado geoestadístico espacial y espacio-temporal, la predicción y simulación (Pebesma, 2004), adecuada por Fernández C., 2014. Cabe indicar que también se evaluó la exploración de datos y la relación de las variables climáticas con la elevación. La Figura 4-2 ilustra el esquema de salida para el proceso de interpolación.



**Figura 4-2 Esquema de ingreso de datos para interpolar**

*Fuente: Elaboración propia*

- ✓ HYDRACCESS, es un software libre se utilizó para almacenamiento de datos y realizar procesos de crítica de datos, y la verificación de la condición de homogeneidad mediante el método de vector regional.
- ✓ Sistemas de información geográfica (ArcMap) para la edición y diseño de mapas temáticos e hidroclimáticos.

### 4.1.3 Información climática

- ✓ Para establecer la caracterización hidroclimatológica del área de estudio (distritos de Pampas y Santiago de Tucumá) se trabajó con un total de 13 estaciones de información de precipitación total mensual, 12 estaciones con información de temperatura mínima y temperatura máxima, que corresponden a la red de observación nacional administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENMAHI), la data fue recopilada del Sistema Estadístico Meteorológico SIEM v.1.2.

*(Ver ANEXO -MAPAS-Mapa N° T-06 Mapa de Estaciones).*



La Tabla 4-1 y Figura 4-3 presenta características más resaltantes de las 13 estaciones con información de precipitación analizadas así como la longitud de sus series respectivamente.

Cabe indicar que el código de identificación es el asignado por SENAMHI, LR es la longitud de registro, Pmed es precipitación media multianual y "n" representa la cantidad de años con los doce meses de información completa.

La elevación en la cual están emplazadas fluctúa entre 2900 msnm (estación Salcabamba) y 3990 msnm (estación Laive).

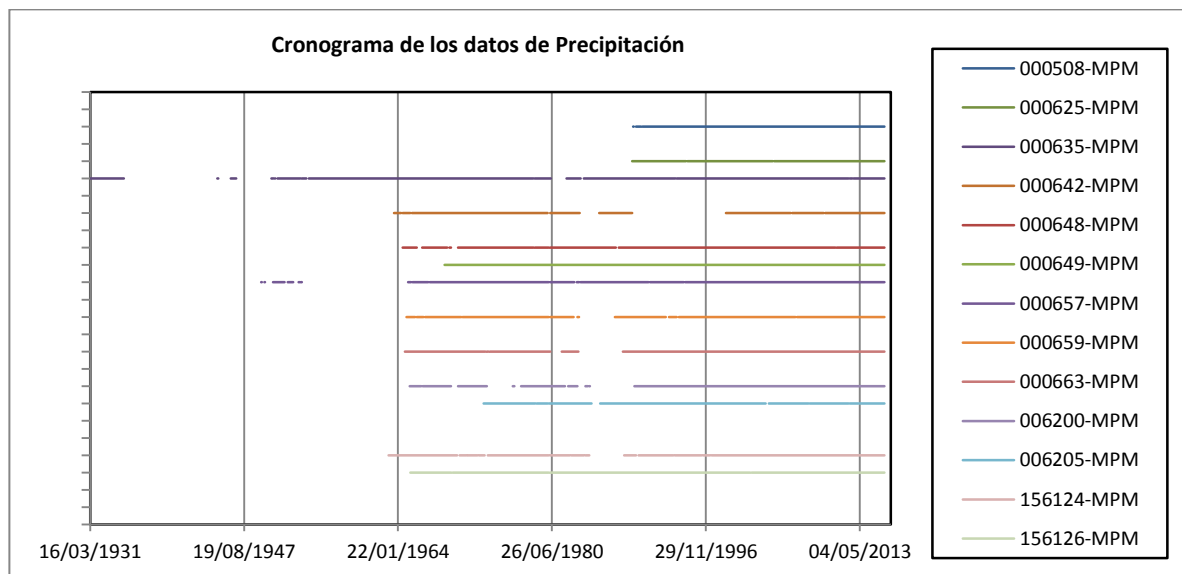
La precipitación media multianual varía de 572 mm (estación Viques) y 909 mm (estación Laive).

Las longitudes de registros, varían de 58 años (estación Huayao) y 25 años (estación Acostambo y Pampas).

**Tabla 4-1 Estaciones utilizadas para la caracterización hidrológica**

Código	Estación	Longitud	Latitud	Altitudms nm	n	*Pmed mm/año	CV
000659	Acobamba	74°34'04"	12°50'15"	3236	38	739	0.25
000625	Acostambo	75°05'00"	12°19'00"	3650	25	746	0.17
156126	Huancalpi	75°14'31"	12°34'48"	3800	47	908	0.33
000649	Huancavelica	75°00'44"	12°46'17"	3676	47	887	0.28
000635	Huayao	75°19'22"	12°02'18"	3308	58	737	0.16
000663	La Quinoa	74°08'29"	13°03'19"	3260	43	783	0.22
000642	Laive	75°21'38"	12°15'08"	3990	34	909	0.20
000657	Lircay	74°43'04"	12°58'54"	3150	45	806	0.19
000508	Pampas	74°51'00"	12°18'00"	3260	25	563	0.14
000648	Pilchaca	75°05'00"	12°21'00"	3570	44	746	0.19
006200	Salcabamba	74°49'00"	12°09'00"	2900	33	673	0.31
006205	San Pedro de Cachi	74°23'31"	13°05'00"	3188	34	647	0.35
156124	Viques	75°13'41"	12°09'21"	3186	37	572	0.50

\*Dato sin completar



**Figura 4-3 Longitud de las series de precipitación**

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4-2 y Figura 4-4 presenta características más resaltantes de las 12 estaciones con información de temperatura del aire analizadas así como la longitud de sus series respectivamente.

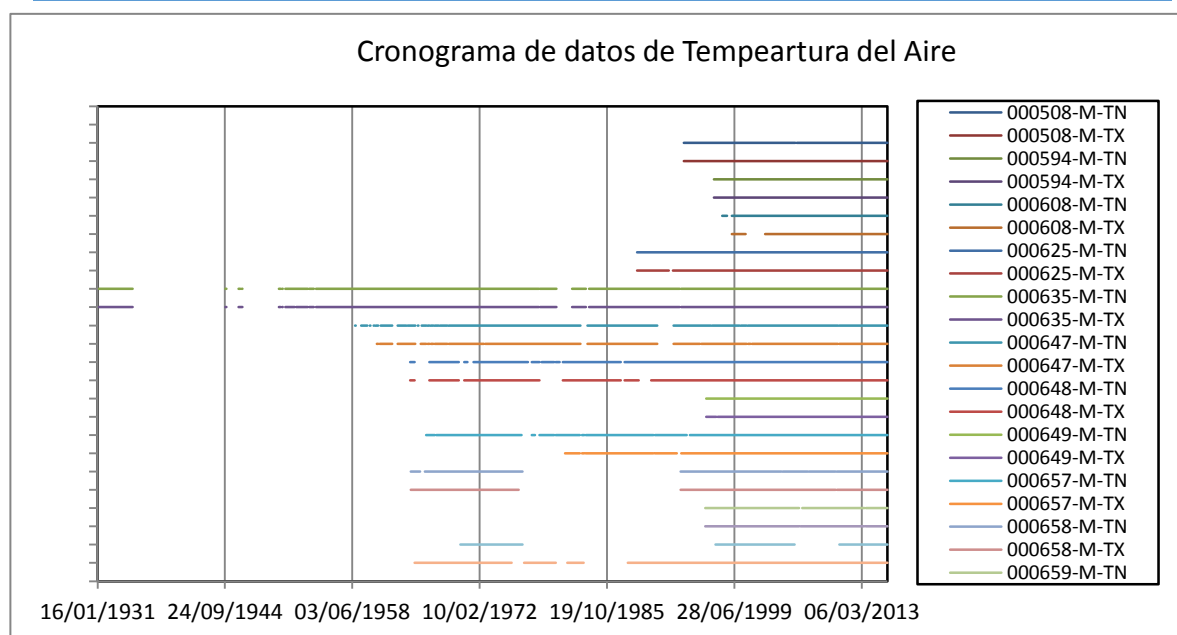
Al igual que las estaciones con información de precipitación, el código de identificación es el asignado por SENAMHI, LR es la longitud de registro, Tn es la temperatura mínima, Tx es la temperatura máxima y n representa la cantidad de años con los doce meses de información completa.

La elevación en la cual están emplazadas fluctúa entre 3000 msnm (estación Paucarbamba) y 4425 msnm (estación Túnel Cero).

La longitud de registro (LR) varía de 58 años (estación Huayao) y 17 años (estación Acobamba) y actualmente se encuentran operativas; predominante presentan información continua en el periodo 1999 a 2015 principalmente.

**Tabla 4-2 Estaciones con información de temperatura del aire**

Codigo	Nombre	Cuenca	Longitud	Latitud	Altitud msnm	n <sub>Tn</sub>	n <sub>Tx</sub>
000508	Pampas	Mantaro	74°51'00"	12°18'00"	3260	21	22
000594	San Juan de Jarpa	Mantaro	75°25'55"	12°07'26"	3726	18	18
000608	Viques	Mantaro	75°13'41"	12°09'21"	3186	16	13
000625	Acostambo	Mantaro	75°05'00"	12°19'00"	3650	27	26
000635	Huayao	Mantaro	75°19'22"	12°02'18"	3308	59	58
000647	Tunel Cero	Pampas	75°05'08"	13°15'32"	4425	41	40
000648	Pilchaca	Mantaro	75°05'00"	12°21'00"	3570	42	41
000649	Huancavelica	Mantaro	75°00'44"	12°46'17"	3676	19	18
000657	Lircay	Mantaro	74°43'04"	12°58'54"	3150	40	30
000658	Paucarbamba	Mantaro	74°34'00"	12°28'00"	3000	28	32
000659	Acobamba	Mantaro	74°34'04"	12°50'15"	3236	17	17
000663	La Quinua	Mantaro	74°08'29"	13°03'19"	3260	19	41



**Figura 4-4 Longitud de las series de Temperatura**

*Fuente: Elaboración propia*

- ✓ Base de datos PISCO - Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations. Precipitación v1.0, de SPI 3 y SPI 12 meses elaborado por SENAMHI, 2015, Información grillada de 5 km de resolución de alcance nacional.
- ✓ Base de datos de pérdida de suelo por erosión hídrica anual para el periodo 1981-2014 anual basado en el modelo RUSLE, elaborado por SENAMHI, 2016 Información grillada de ~250 m de resolución de alcance nacional.

## 4.2 Método

La metodología aplicada en el presente estudio tiene dos grandes componentes:

- a) la fase de campo donde se realizan aforos y evaluaciones en campo con la finalidad de validar la información de caudales generada; principalmente en lugares donde no se tiene información hidrométrica; y
- b) la fase de gabinete, comprende el desarrollo de cuatro etapas:
  - Etapa 1. Determinación de parámetros morfométricos y geomorfológicos
  - Etapa 2. Tratamiento de información
  - Etapa 3. Extrapolación de datos
  - Etapa 4. Generación de caudales
  - Etapa 5. Análisis de eventos extremos: como las sequias y determinación de áreas potenciales a inundación.
  - Etapa 6. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica

Cabe indicar que en la fase de gabinete se describen los fundamentos teóricos de los métodos que han sido aplicados para el análisis hidroclimático.

La Figura 4-7 ilustra en el flujograma metodológico desarrollado en el presente estudio.

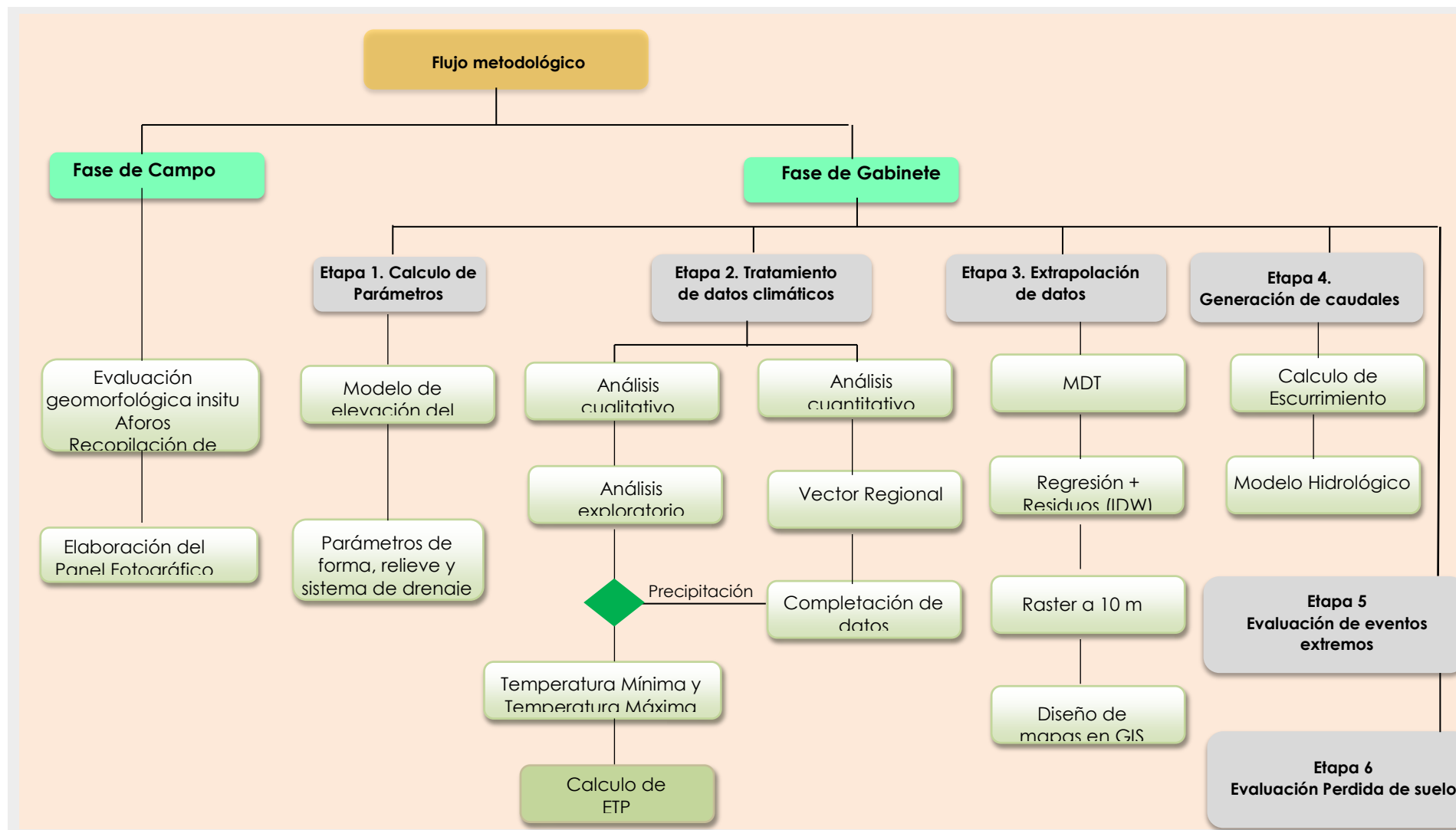


Figura 4-5 Flujograma metodológico

### 4.2.1 Fase de Campo

Las actividades de campo se realizaron del 25 al 29 de abril del 2016 y se planteó como objetivo realizar mediciones hidrométricas de los principales ríos que cursan el distrito de Pampas, así como realizar actividades de aforo, así como evaluar la operatividad de las estaciones hidrometeorológicas que administra el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI; emplazadas en el entorno al distrito de Pampas. Se ha observado que las estaciones climatológicas visitadas se encuentran en estado operativo y los observadores de éstas registran los datos de manera regular y continua; respecto a los regímenes hidrológicos, se ha observado una escasa cantidad de volumen circulante de agua en los ríos visitados debido a su ubicación, estos son clasificados como arroyos de montaña.

De acuerdo a los resultados de campo, el caudal estimado en el río Upamayo a la altura del Puente del mismo nombre, en el distrito de Pampas, fue de 0.091 m<sup>3</sup>/s, realizado mediante la técnica de vadeo se llevó a cabo el día 29 de abril de 2016.

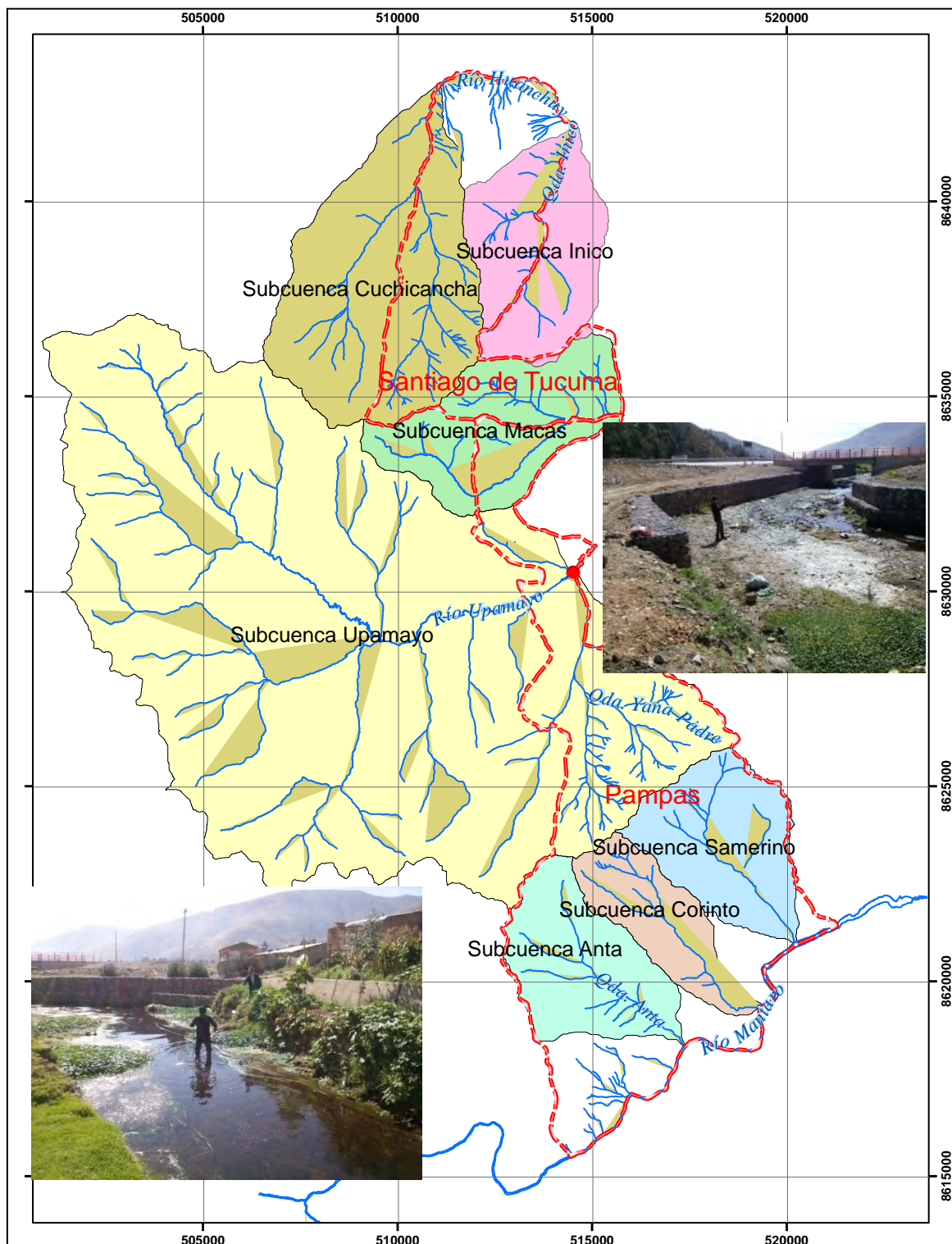
La Tabla 4-3 y Figura 4-5 muestra los datos hidráulicos procesados en el río Upamayo, punto de aforo, así como el punto de ubicación donde se realizó el aforo respectivamente.

El área, velocidad media y caudal obtenido en el aforo insitu, fue realizado con el Correntómetro AOTT 246861 Hélice N°12252-1 y el método de aforo utilizado fue vadeo.

Cabe mencionar que pobladores de las localidades visitadas que durante el periodo de evaluación se han registrado lluvias muy escasas comparadas con otros años, en consecuencia se obtuvo módulos de caudales pequeños.

**Tabla 4-3 Datos hidráulicos obtenidos en campo en el río Upamayo**

Punto de Aforo	Coorx UTM	Coory UTM	Altitud (m.s.n.m.)	Area (km <sup>2</sup> )	V. Media (m/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
Rio Upamayo	514075	86386	3250	1.245	0.073	0.092



**Figura 4-6 Punto de Aforo en el río Upamayo**

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4-4 se muestra la planilla de aforo del río Upamayo. La Figura 4-7 ilustra la sección del río Upamayo aforado con presencia de algas, agua arriba del Puente del mismo nombre, y aguas abajo el régimen presenta flujos muy estables con velocidades casi nulas. (Ver Anexo 02-Panel Fotográfico de la Etapa de Campo).

Tabla 4-4 Planilla de aforo del río Upamayo

ECUACION ALTURA Vs GASTO    Q= 0.0238 H2 + 0.3237 H - 0.0068							HORA INICIAL	08:30:00 a.m.	ESTACION:	PUENTE UPAMAYO				HELICE N° : 2-234696			
GASTO PARA CUAL ALTURA    H =                    0.3    Q=    0.0925							HORA FINAL	11:45:00 a.m.	CUENCA:	MANTARO		RIO : UPAMAYO		29/04/2016			
AREA TOTAL:            1.245            m2							VELOCIDAD MEDIA:            0.073            m/s		DESCARGA TOTAL:            0.091    m3/s								
TRABAJO DE CAMPO							TRABAJO DE GABINETE										
SONDEOS			CORRENTOMETRO			VELOCIDAD				SECCION				DESCARGAS		OBS	
PTOS.	DIS. PTO	PROF	PROF. DE OBS		REV .	TIEMPO	EN EL PTO	MED. EN VERT	MED. EN EL TRAMO	PROF. MEDIA	ANCHO	AREA	AREA	Q	CAD		
	m	m	metodo	metro s		seg	m/seg.	m/seg.	m/seg.	m	m	m2	(CAD)	m3/seg.	V=0.2558N+0.0101		
Md																	
p0	0.0	0.000	0.6	0.000	8	50	0.051	0.051	0.026	0.000	0.00	0.000		0.000	0.000		
p1	0.2	0.150	0.6	0.090	10	50	0.061	0.061	0.056	0.075	0.20	0.015		0.001	0.000		
p2	0.4	0.200	0.6	0.120	11	50	0.066	0.066	0.064	0.175	0.20	0.035		0.002	0.000		
p3	0.6	0.220	0.6	0.132	13	50	0.077	0.077	0.071	0.210	0.20	0.042		0.003	0.000		
p4	0.8	0.250	0.6	0.150	13	50	0.077	0.077	0.077	0.235	0.20	0.047		0.004	0.000		
p5	1.0	0.250	0.6	0.150	14	50	0.082	0.082	0.079	0.250	0.20	0.050		0.004	0.000		
p6	1.2	0.250	0.6	0.150	15	50	0.087	0.087	0.084	0.250	0.20	0.050		0.004	0.000		
p7	1.4	0.250	0.6	0.150	13	50	0.077	0.077	0.082	0.250	0.20	0.050		0.004	0.000		
p8	1.6	0.240	0.6	0.144	13	50	0.077	0.077	0.077	0.245	0.20	0.049		0.004	0.000		
p9	1.8	0.250	0.6	0.150	14	50	0.082	0.082	0.079	0.245	0.20	0.049		0.004	0.000		
p10	2.0	0.250	0.6	0.150	14	50	0.082	0.082	0.082	0.250	0.20	0.050		0.004	0.000		
p11	2.2	0.250	0.6	0.150	14	50	0.082	0.082	0.082	0.250	0.20	0.050		0.004	0.000		
p12	2.4	0.270	0.6	0.162	14	50	0.082	0.082	0.082	0.260	0.20	0.052		0.004	0.000		
p13	2.6	0.280	0.6	0.168	14	50	0.082	0.082	0.082	0.275	0.20	0.055		0.004	0.000		
p14	2.8	0.290	0.6	0.174	14	50	0.082	0.082	0.082	0.285	0.20	0.057		0.005	0.000		
p15	3.0	0.300	0.6	0.180	14	50	0.082	0.082	0.082	0.295	0.20	0.059		0.005	0.000		
p16	3.2	0.300	0.6	0.180	14	50	0.082	0.082	0.082	0.300	0.20	0.060		0.005	0.000		
p17	3.4	0.300	0.6	0.180	14	50	0.082	0.082	0.082	0.300	0.20	0.060		0.005	0.000		
p18	3.6	0.300	0.6	0.180	14	50	0.082	0.082	0.082	0.300	0.20	0.060		0.005	0.000		
p19	3.8	0.300	0.6	0.180	14	50	0.082	0.082	0.082	0.300	0.20	0.060		0.005	0.000		
p20	4.0	0.300	0.6	0.180	14	50	0.082	0.082	0.082	0.300	0.20	0.060		0.005	0.000		
p21	4.2	0.300	0.6	0.180	8	50	0.051	0.051	0.066	0.300	0.20	0.060		0.004	0.000		
p22	4.4	0.300	0.6	0.180	6	50	0.041	0.041	0.046	0.300	0.20	0.060		0.003	0.000		
p23	4.6	0.300	0.6	0.180	5	50	0.036	0.036	0.038	0.300	0.20	0.060		0.002	0.000		
p24	4.8	0.250	0.6	0.150	4	50	0.031	0.031	0.033	0.275	0.20	0.055		0.002	0.000		
Mi											4.80	1.245	0.00	0.091	0.000	0.073	

Fuente: Elaboración propia



## 4.2.2 Fase de Gabinete

### 4.2.2.1 Etapa 1. Cálculo de parámetros morfométricos, geomorfológicos e hidrológicos

Las características físicas desempeñan un papel esencial en la respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica. Recíprocamente, el carácter hidrológico de la misma contribuye considerablemente a formar sus características físicas. Entonces, esta interrelación debería suministrar la base para predecir cuantitativamente la respuesta hidrológica, a partir de aquellos parámetros físicos que son fáciles de medir.

La unidad de análisis para definir los parámetros en adelante se ha denominado Subcuenca.

El proceso de delimitación de unidades hidrográficas se desarrolló con información del modelo de elevación digital de 10 m de resolución proporcionado por el Minagri, 2016. Se han delimitado bajo el soporte del programa Arc Hydro, siendo ello una herramienta de análisis hidrológico desarrollado por Centro de Investigaciones en Recursos de Agua (CRWR) de la Universidad de Texas, de los EE.UU. Su distribución es gratuita. En <http://www.cwrw.utexas.edu/archydrotools/tools.html>.

El Archydro utiliza un Modelo Numérico del Terreno para delimitación automática de cuencas hidrográficas y red de drenaje. Además esta herramienta posee la capacidad de administrar una base de datos geográfica (Geodatabase) que permite integrar los diferentes elementos del sistema hidrológico de la cuenca, que lo diferencia de otros modelos que realizan similares tareas como Hec GeoHms muy utilizado en el análisis hidrológico en entorno de sistemas de información geográfica -Arc Gis 10.2.

A continuación se presenta los procesos realizados en Archydro para la delimitación de cuencas y se ilustra en forma secuencial para un mejor entendimiento de los geoprocesos:

- **Preprocesamiento del Terreno (TerrainPreprocessing)**

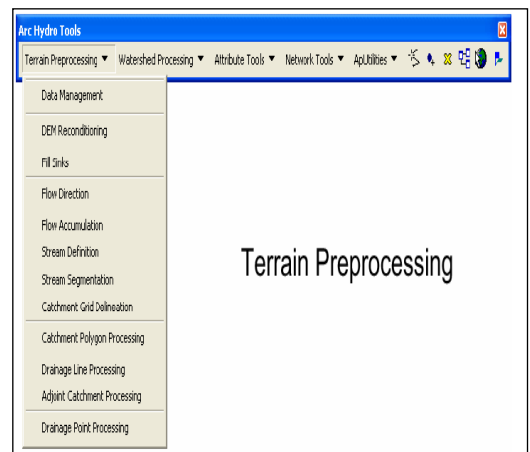
El preprocesamiento del terreno utiliza al DEM para identificar la superficie de drenaje. Una vez que se haya preprocesado, el DEM y sus derivados se pueda utilizar para la generación eficiente de la red de drenaje y la delimitación de la cuenca. Todos los pasos del preprocesamiento del terreno, se deben realizar en orden secuencial.

Reacondicionamiento del DEM (modelo de elevación digital) y llenado de vacíos en la grilla, no se pueden requerir, dependiendo de la calidad del

DEM inicial.

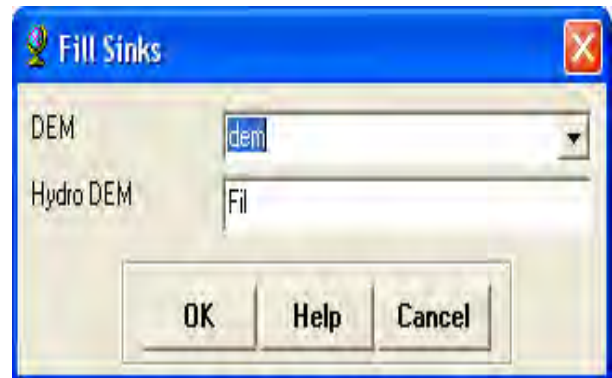
- **DEM Reconditioning**

Modifica el DEM por imposición de un elemento vectorial lineal. Esta función necesita como datos de entrada el DEM y una figura de clase lineal (rio) ambos deben estar presentes en el documento del mapa.



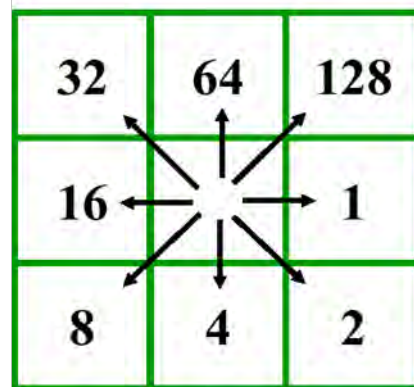
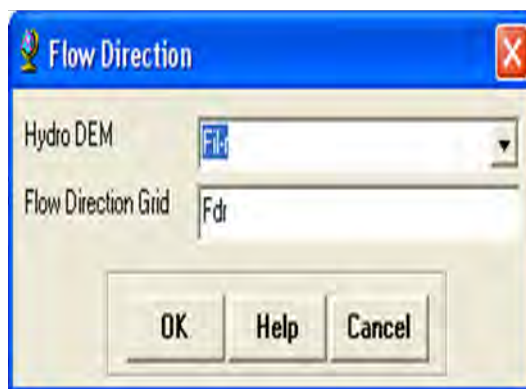
- **FillSinks**

Esta función que llena los vacíos en la grilla. Si una celda es rodeada por las celdas con una elevación más alta, el agua se atrapa en la celda y no puede fluir. Esta función Fill Sinks modifica el valor de la elevación para eliminar estos problemas.



- **FlowDirection**

Esta función calcula la dirección del flujo para una celda dada. Los valores en las celdas de la grilla dan la dirección del flujo, indica la dirección de la pendiente más escarpada de esa celda.



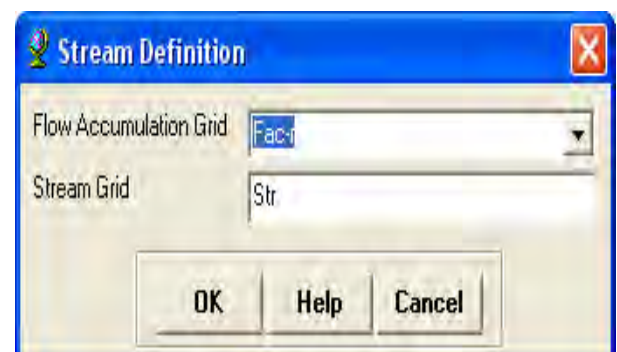
- **Flow Accumulation**

Muestra la función que calcula la acumulación del flujo en una grilla que contiene un número acumulado de celdas contra la corriente de una celda, para cada celda que este en la grilla de entrada.



- **StreamDefinition**

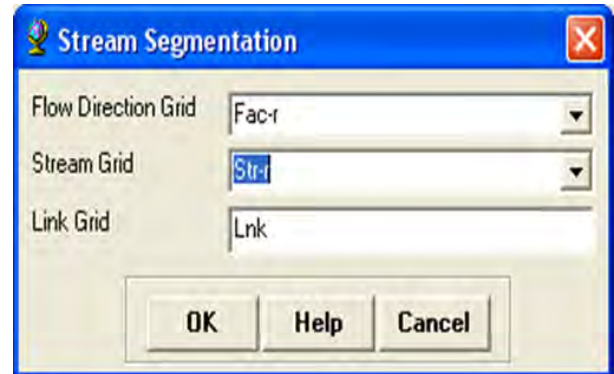
Calcula una grilla de la corriente que contiene un valor de "1" para todas las celdas en la celda de la acumulación del flujo de la entrada que tienen un valor más grande que el umbral dado. El resto de las celdas en la grilla de la corriente no contienen ningún dato. Un valor por defecto se exhibe para el umbral del río.



Este valor representa el 1% de la acumulación máxima del flujo: es el umbral recomendado para la determinación la corriente. Sin embargo, cualquier otro valor del umbral puede ser seleccionado. Un umbral más pequeño resultará en una red más densa de la corriente y generalmente en un número más grande de cuencas delineados.

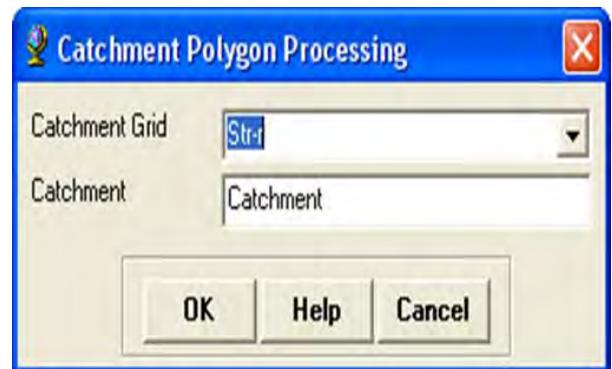
- **Stream Segmentation**

Esta función, crea una grilla de los segmentos de la corriente que tienen una identificación única. O un segmento puede ser un segmento principal, o puede ser definido como segmento entre dos ensambladuras del segmento. Todas las células, en un segmento particular, tienen el mismo código de la grilla que se especificó a ese segmento.



- **Catchment Polygon Processing**

El objetivo es delinear las áreas de captación en formato "vector",



- **Drainage Line Processing**

Esta función, convierte el Stream Link en un elemento vectorial lineal en la línea de drenaje. Cada línea del nuevo elemento, está identificado con el código de la cuenca que reside.

En general, a partir de la delimitación se ha realizado la determinación de los parámetros morfométricos que nos permitirá evaluar las características de forma, relieve y sistema de drenaje de cada unidad hidrográfica; así como los parámetros geomorfológicos e hidrológicos.

Los parámetros geomorfológicos evaluados en este estudio son: la pendiente, orientación, rugosidad, índice elevación-relieve, curvatura, factor de profundidad S, factor de profundidad L, factor longitud y profundidad de pendiente LS. Y parámetros hidrológicos como: Índice topográfico de humedad, Índice de potencia de cauce y Capacidad de transporte de sedimentos para cada uno de las unidades delimitadas.

Entre los parámetros hidrológicos tenemos, al índice de humedad, índice de potencia de cauce e índice de capacidad de transporte de sedimentos.

*(Ver ANEXO -MAPAS-Mapa N° T-07 Mapa Modelo numérico del terreno).*

#### 4.2.2.2 Etapa 2.Tratamiento de datos climáticos

Esta etapa permite identificar datos erróneos o dudosos relacionados con problemas en la observación realizada por el observador meteorológico y/o errores de digitalización o transcripción de la información, se realiza a fin de obtener información lo más consistente posible, principalmente porque la inclusión de datos dudosos afectaría las estadísticas derivados a partir de los datos originales.

Esta etapa comprendió cuatro procesos que se realizan en forma consecutiva: a) Análisis exploratorio, b) Identificación de regiones homogéneas, c) verificación de homogeneidad y d) completación y extensión de datos faltantes:

- a) Análisis exploratorio de datos, consistió en el análisis de datos atípicos (*outliers*) mediante la técnica de diagrama de caja (*boxplot*), para la verificación cualitativa de datos atípicos se utilizó el test de Grubbs y el análisis de histogramas para ver los registros recurrentes. El diagrama de cajas permitió evaluar la presencia de valores que podrían ser considerados inicialmente como atípicos potenciales o outliers, principalmente a los que están por sobre 1.5 veces el rango intercuartil.

El Test de Grubbs permitirá identificar cuantitativamente si el dato máximo es outliers. Tomando como Hipótesis:

Ho : No hay outliers en la serie de datos

Ha : Hay outlier en la serie de datos

El Test de Grubbs, es implementado en ejecutable de Excel libre en <http://pweb.furst.no/norip/nkk/slenger.xls> y está definido por:

$$G = \frac{\max|Y_i - \bar{Y}|}{s}$$

Dónde:

$\bar{Y}$  y  $s$  la media y desviación estándar respectivamente.

- b) Identificación de regiones homogéneas, para comprobar que las estaciones que la conforman tienen el mismo patrón en cuanto al régimen de precipitación interanual. Se ha utilizado la técnica de cluster (jerárquico, inicialmente cada caso es un grupo en sí mismo y sucesivamente se van fusionando grupos cercanos hasta que todos los individuos confluyen en un solo grupo) y método de kmean (no jerárquico, inicialmente se establece el número de grupos y cada caso se asigna a uno de ellos).

Para el primer tipo se ha utilizado, el método de Ward es uno de los más utilizados en la práctica; posee casi todas las ventajas del método de la media y suele ser más discriminativo en la determinación de los niveles de agrupación. Una investigación llevada a cabo por Kuiper y Fisher probó que este método era capaz de acertar mejor con la clasificación óptima que otros métodos (mínimo, máximo, media y centroide).

El segundo algoritmo de las k-medias es una herramienta diseñada para asignar casos a un número fijo de grupos (clúster o conglomerados) cuyas características no se conocen aún pero que se basan en un conjunto de variables especificadas. Es muy útil cuando queremos clasificar un gran número de casos.

El agrupamiento de estaciones homogéneas se inició estandarizando las variables seleccionadas la precipitación media anual, latitud, longitud y altitud. La de estandarización utilizada fue basada en la expresión matemática siguiente:

$$X_{est} = \frac{xi - \bar{X}}{\sigma}$$

Donde:

$\bar{X}$  : Media  
 $\sigma$  : Desviación estándar.

- c) Verificación de homogeneidad por el método del vector regional para el caso de la precipitación.

La homogenización será realizada con el soporte del programa Hydraccess del IRD, desarrollado por Philippe Vauchell, el cual permite administrar base de datos hidrológicos y realizar fácilmente un conjunto de procesamiento de crítica y homogenización de datos. Asimismo tiene sistematizado el método de vector regional (MRV), proceso conduce a la regionalización pluviométrica. Hydraccess a través de la función Vector Regional tiene implementado la metodología propuesta por Brunet-Moret y Hiez, el primer método se utilizó para la homogenización de datos en el presente estudio.

El método de Brunet Moret considera que el índice regional de un año es el promedio de los índices de todas las estaciones. Sin embargo, toma la precaución de filtrar los índices de las estaciones que se alejan demasiado del promedio, puesto que el promedio es influenciado por los valores extremos. De la misma manera, la media extendida de una estación se calcula a partir de la media de los valores observados o estimados, siempre después de filtrar los valores que se alejan demasiado de los valores de las estaciones vecinas para un mismo año. La filtración de los valores que se alejan demasiado del promedio se hace en forma iterativa.

Para poder cumplir la hipótesis de pseudo-proporcionalidad, la Desviación Estándar de Desvíos (DED) debe estar igual o por debajo de 0.2.

- d) Completación y extensión de datos faltantes

Para la completación y extensión de datos faltantes de escala mensual se realizaron los procedimientos siguientes:

- En caso de ausencia de un dato pluviométrico mensual (n) de una estación, se utilizó como criterio estadístico de la media entre el módulo del mes n-1 y n+1. Asimismo, en el caso de ausencia de dos datos mensuales consecutivos (m y m+1) se utilizó la media ponderada dando un peso mayor al módulo conocido es:  $m = (2 \cdot m - 1 + m + 1) / 3$  y para el  $m + 1 = (2 \cdot (m + 2) + m) / 3$ , siendo "n y m" la posición de la variable.
- Para generar el módulo anual se ha utilizado el método de Vector Regional y regresión lineal, el primero considerado para la ausencia de 3 a 9 datos mensuales ausentes en un año y el segundo considerado para la ausencia de los 12 datos mensuales ausentes en un año, cabe mencionar que para este último se seleccionó el mejor índice de correlación.

- Los valores medios mensuales se obtuvo mediante el Método de fragmentos obtenidos de los mismos registros de la estación analizada. Los fragmentos, se obtienen generando los pesos porcentuales (k) de cada uno de los meses respecto a su valor anual, este factor k se obtiene con la siguiente ecuación:

Donde:

$$k_i = \frac{\bar{x}_i}{\bar{X}}$$

$k_i$  : Factor adimensional para cada mes

$\bar{x}_i$  : Precipitación promedio multi-anual del mes i

$\bar{X}$  : Precipitación promedio multi-anual a nivel anual

Consistenciada la información de precipitación se ha realizado el análisis de tendencias anuales y trimestral de la precipitación se presenta con el objetivo de identificar la existencia de comportamiento creciente, decreciente o estable en las series cronológicas de estaciones cercanas al distrito de Pampas, la cual se verifica con el test estadístico de Mann-Kendall y Pendiente de Sen implementado en el programa Excel de libre disposición en ([http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/julkaisu/pdf/MAKESENS\\_1\\_0.xls](http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/julkaisu/pdf/MAKESENS_1_0.xls)). Es así, que se ha escogido las estaciones con series largas que superen a los 30 años.

Consistente la información de temperatura del aire, se estimó la ETo según lo propuesto por Harvegreaves – Samani, 1985 más detalles se presenta en el ítem 6.

#### 4.2.2.3 Etapa 3. Extrapolación de variables climáticas

El análisis de temperatura ha sido tomado de la memoria descriptiva de los mapas climáticos mensuales para el distrito de Pampas y Santiago de Tucuma, elaborado por la Dirección de Agrometeorología del SENAMHI, los cuales fueron elaborados por el método de regresión lineal múltiple donde el comportamiento de la temperatura ( $T_i$ ) es explicada por la latitud, longitud y altura. Una gran ventaja del método es la corrección de la interpolación a partir de un mapa de errores que permite ajustar el mapa resultante y representar el comportamiento de la variable que no pudo ser explicada mediante la fórmula (Quevedo y Sánchez, 2009).

$$T_i = A * X + B * Y + C * Z + D$$

Donde:

A : Coeficiente de la variable Latitud

B : Coeficiente de la variable Longitud

C : Coeficiente de la variable Altitud

D : Constante de Regresión Lineal Múltiple

X : Latitud

Y : Longitud

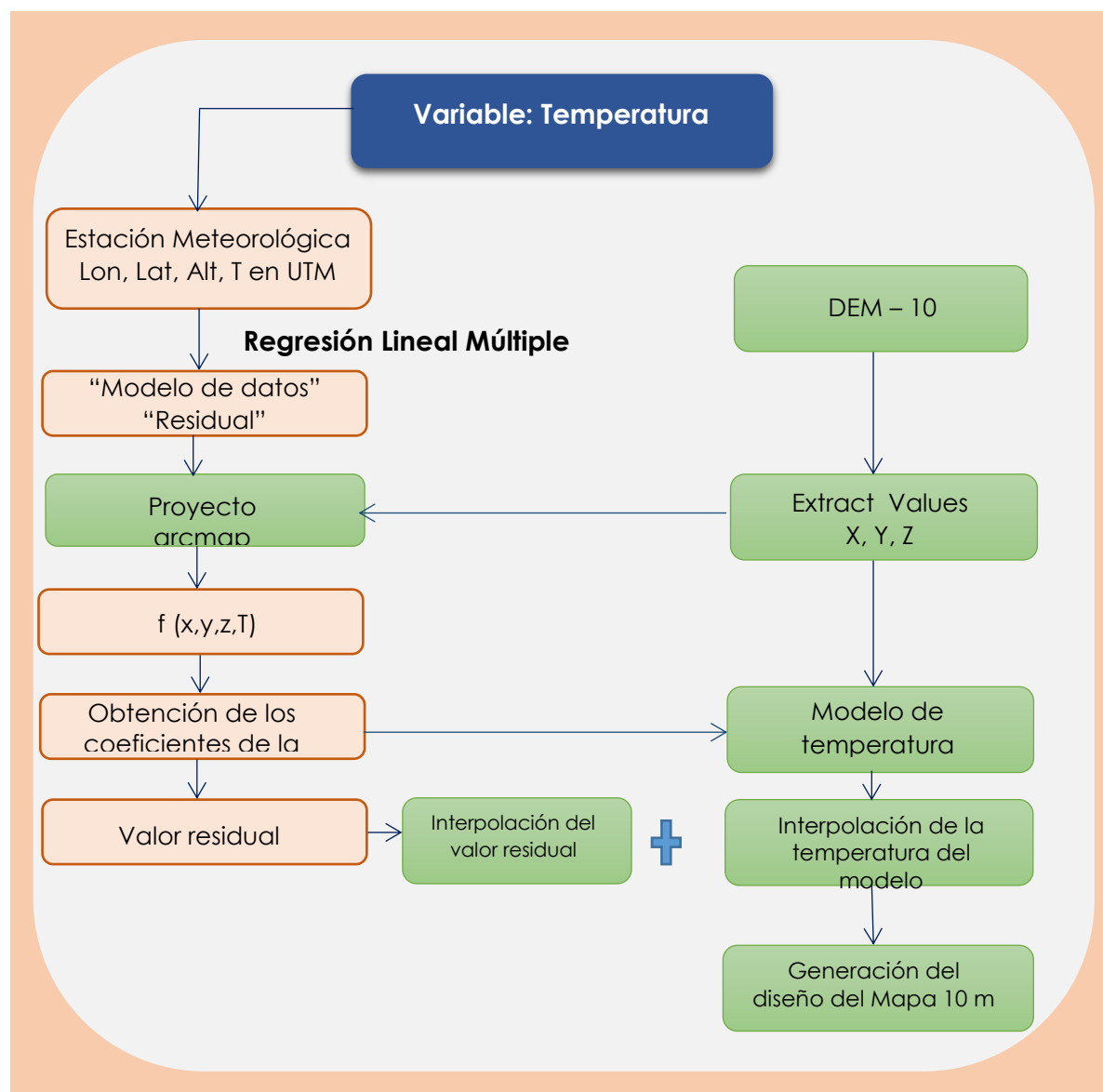
Z : Altitud



Los resultados obtenidos mostrarán la distribución de espacial de la variable temperatura ajustados al punto de estación en base a la última suma o corrección de residuales obtenidos.

Los mapas de temperatura media fueron obtenidos de los mapas de temperatura máxima y mínima, realizado mediante álgebra de mapas.

La Figura 4-8 muestra el flujograma metodología para la espacialización de la variable temperatura del aire.



**Figura 4-7 Metodología de interpolación de la variable temperatura del aire**

Fuente: Elaboración propia

Para generar el mapa de precipitación se basó en la relación existente entre la altura de la estación y la cantidad precipitada. Al igual que la temperatura se hizo uso del método de regresión lineal múltiple, se procuró obtener los valores de correlación altos, para lo cual se definieron estaciones base, cercanos al área de estudio, cuya correlación de estimación de la precipitación fuese el mayor posible; sin embargo estos valores disminuyen en los meses de estiaje.



Los mapas de precipitación fueron elaborados de la misma manera que para los mapas de temperatura es decir mediante regresión lineal múltiple, excepto el mes de junio al ser valores acumulados muy bajos que no permitieron encontrar una relación espacial de la variable, así mismo para el mes de noviembre fueron utilizados solo dos predictandos (longitud y altura). Al final del proceso de interpolación los mapas son validados con el mapa de zonas de vida.

Para la generación de los mapas en sí, se determinó los valores promedio multimensuales de las estaciones con información de precipitación seleccionadas, con los cuales se generó las ecuaciones de regresión para cada mes con la siguiente expresión:

$$P = A * \text{Latitud} + B * \text{Longitud} + C * \text{Altitud} + Cte$$

Interpolada la información se ha obtenido los valores areales para cada uno de los doce meses del año a fin de caracterizar la climatología a nivel de unidades hidrográficas y a escala distrital.

#### 4.2.2.4 Etapa 4. Generación de caudales

Se ha evaluado cuatro métodos para la generación de caudales: método de Budyko, Modelo Matemático Lutz, transposición Hidrométrica y modelación hidrológica con GR2m. También han sido evaluados el método Curva Numero, método regional propuesto por Halcrow, 2011, método regional para la cuenca del Mantaro, siendo las cuatro primeras que presentaron mejor performance por tanto, se describen sus aspectos teóricos de los mencionados.

##### a) Estimación del Escurrimiento Superficial por Método de Budyko

Para la generación del escurrimiento superficial se obtuvo primero la espacialización de la precipitación generada con la interpolación residual, teniendo como variable auxiliar el modelo digital del terreno y segundo la especialización de la Evapotranspiración a partir de la interpolación de la series de temperatura del aire limitado al periodo disponible (1995-2015) y mapas de Rs; información básica que requiere la metodología de Hargreaves-Samani, finalmente mediante el álgebra de mapas en soporte de sistemas de información geográfica se obtiene los mapas de escurrimiento superficial a escala regional basado en la expresión matemática siguiente:

$$Q = P - \{P[1 + \exp(-AI)E_p \tanh(AI)]\}^{0.5}$$

$$AI = \frac{E_p}{P}$$

Donde:

- P : Precipitación (mm/mes)
- AI : Índice de aridez
- Ep : Evapotranspiración (mm/mes)
- Tanh : Tangente hiperbólica
- Q : Escurrimiento superficial mm/mes

## b) Modelo hidrológico Lutz Scholz

Es un Modelo combinado por que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance Hídrico - Modelo determinístico); y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso markoviano - Modelo Estocástico). Fué desarrollado por el experto Lutz Scholz para cuencas de la sierra peruana, entre los años 1979-1980, en el marco de Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II. Este modelo se desarrolló tomando en consideración parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas, que puedan ser obtenidos a través de mediciones cartográficas y de campo. Los parámetros más importantes del modelo son los coeficientes para la determinación de la Precipitación Efectiva, déficit de escurrimiento, retención y agotamiento de las cuencas. Los procedimientos que se han seguido en la implementación del modelo son:

1. Cálculo de los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de esorrentía promedio.
2. Establecimiento de un conjunto de modelos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en cuencas sin información hidrométrica. En base a lo anterior se realiza el cálculo de los caudales necesarios.
3. Calibración del modelo y generación de caudales extendidos por un proceso markoviano combinado de precipitación efectiva del mes con el caudal del mes anterior.

Aguirre, M (2004), indica que este modelo fué implementado con fines de pronosticar caudales a escala mensual, teniendo una utilización inicial en estudios de proyectos de riego y posteriormente extendiéndose el uso del mismo a estudios hidrológicos con prácticamente cualquier finalidad (abastecimiento de agua, hidroelectricidad entre otros). Los resultados de la aplicación del modelo a las cuencas de la sierra peruana, han producido una correspondencia satisfactoria respecto a los valores medidos.

La estructura determinística del modelo se sustenta en la ecuación de Balance Hídrico.

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i$$

Donde:

$CM_i$	: Caudal mensual (mm/mes)
$P_i$	: Precipitación mensual sobre la cuenca (mm/mes)
$D_i$	: Déficit de escurrimiento (mm/mes)
$G_i$	: Gasto de la retención de la cuenca (mm/mes)
$A_i$	: Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Asumiendo:

1. Que para períodos largos (en este caso 1 año) el Gasto y Abastecimiento de la retención tienen el mismo valor es decir  $G_i = A_i$ , y
2. Que para el año promedio una parte de la precipitación retorna a la atmósfera por evaporación.

Reemplazando (P-D) por (C\*P), y tomando en cuenta la transformación de unidades (mm/mes a m<sup>3</sup>/seg) la ecuación se convierte en una expresión básica del método racional:

$$Q = c * C * P * AR$$

Donde:

- Q : Caudal (m<sup>3</sup>/s)  
c' : coeficiente de conversión del tiempo (mes/seg)  
C : coeficiente de escurrimiento  
P : Precipitación total mensual (mm/mes)  
AR : Area de la cuenca (m<sup>2</sup>)

La estructura estocástica para la generación sintética de caudales consiste en una combinación de un proceso markoviano de primer orden, según la ecuación con una variable de impulso, que en este caso es la precipitación efectiva, según la siguiente ecuación :

$$Q_t = B_1 + B_2 * (Q_{t-1}) + B_3 * (PE_t) + z * (S) * \sqrt{1 - r^2}$$

Donde:

- Q<sub>t</sub> : Caudal del mes t  
Q<sub>t-1</sub> : Caudal del mes anterior  
PE<sub>t</sub> : Precipitación efectiva del mes  
B<sub>1</sub> : Factor constante o caudal básico

#### c) Transposición hidrométrica

La aplicación de este método es uno de los más usados para la generación de información hidrológica en cuencas no aforadas. Se fundamenta en la proporcionalidad que guarda la precipitación y el área de cuencas homogéneas, según la siguiente relación matemática:

$$Q_x = \frac{A_x * P_x}{A_b * P_b} * Q_b$$

Donde:

- Q<sub>x</sub>, P<sub>x</sub> y A<sub>x</sub> : corresponden a los valores de caudal, precipitación media y Área de la cuenca no aforada  
Q<sub>b</sub>, P<sub>b</sub> y A<sub>b</sub> : corresponden al caudal, precipitación media, área de la cuenca Homogénea con datos

#### d) Modelamiento Hidrológico con GR2m

Este modelo hidrológico es conceptual fue desarrollado por CEMAGREF acrónimo del Centro de Investigación Agrícola e Ingeniería Ambiental de Francia. Su uso en el Perú fue introducido por el IRD de Francia, primero en estudios de modelización hidrológica en cuencas de la vertiente del Pacífico (SOFI CONSULT S.A) y luego generalizado a cuencas de las vertientes del Atlántico (Lavado, W.) y Titicaca (Vera, H.). Su uso se ha extendido en estudios de simulación hidrológica bajo escenarios de cambio climático, sobre todo los elaborados por SENAMHI (PACC-PRAA).GR2m es un modelo de paso de tiempo mensual de 2 parámetros. Se encuentra estructurado en dos módulos principales que, en conjunto, tratan de describir las diferentes etapas del agua desde que alcanza la superficie de la cuenca hasta su llegada al punto de desagüe de la misma bajo la forma de escorrentía, tanto superficial como subterránea. El primero de ellos se denomina función de producción y el segundo se conoce como función de transferencia.

La función de producción tiene por objeto representar el movimiento vertical del agua, esto es, los diferentes procesos físicos por los que atraviesa el agua atmosférica desde su precipitación en la superficie de la cuenca hasta que está disponible como lluvia neta apta para incorporarse a la escorrentía

Estos procesos son simulados, mediante la representación del suelo y del conjunto de materiales infrayacentes bajo la forma de reservorios comunicantes, con la ayuda de expresiones matemáticas que reproducen las diferentes componentes que intervienen en el ciclo hidrológico

Una de las hipótesis que asume el modelo es que el agua de lluvia está inmediatamente disponible en el suelo, es decir, no considera la interceptación de ésta por la vegetación, pero indirectamente tiene en cuenta su presencia mediante la infiltración del agua del suelo al acuífero, ya que supone que cuanto mayor es la cubierta vegetal, mayor es la capacidad de infiltración del suelo. También se considera su efecto en el cálculo de la evapotranspiración.

La estructura del modelo está constituida por dos reservorios. La función de producción del modelo está representado por un reservorio de almacenamiento "S", caracterizado por el parámetro X1 que representa la capacidad máxima de almacenamiento. X2 es el parámetro que caracteriza la función de transferencia y determina la parte de la escorrentía directa que no entra en el reservorio de transferencia "R". X2 oscila entre 1 y 2. Si X2=1 significa que toda la precipitación neta del mes es transferida a la salida de la cuenca sin ser retenida en el reservorio de transferencia. En el caso extremo si X2=2 toda la toda precipitación es retenida en el reservorio de transferencia. Este modelo ha sufrido en el tiempo varias adaptaciones y modificaciones según los autores.

En la Figura 4-8 se ilustra el esquema conceptual del modelo hidrológico GR2m extraído de Mouelhi. El modelo ha sido implementado en diferentes programas como Fortran y hoja de cálculo. Utiliza métodos de optimización para la calibración de los parámetros maximizando la eficiencia del modelo con el criterio de Nash- Sutcliffe.

### Indicadores de desempeño del Modelo GR2m

El indicador de desempeño más utilizado en hidrología para la evaluación de modelos es la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E). El criterio de Nash-Sutcliffe matemáticamente se define como:

$$Nash = \left[ 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{obs,t} - Q_{cal})^2}{\sum_{t=1}^n (\bar{Q}_{obs,t} - Q_{obs,t})^2} \right] * 100$$

E mide cuánto de la variabilidad de las observaciones es explicada por la simulación. Si la simulación es perfecta, E=1; si se intentase ajustar las observaciones con el valor promedio, entonces E=0. Algunos valores sugeridos para la toma de decisiones son resumidos en la Tabla 4-5.

**Tabla 4-5 Valores referenciales del Coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe**

E	Ajuste
<0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 – 0.8	Muy Bueno
>0.8	Excelente

Fuente: Molnar, 2011

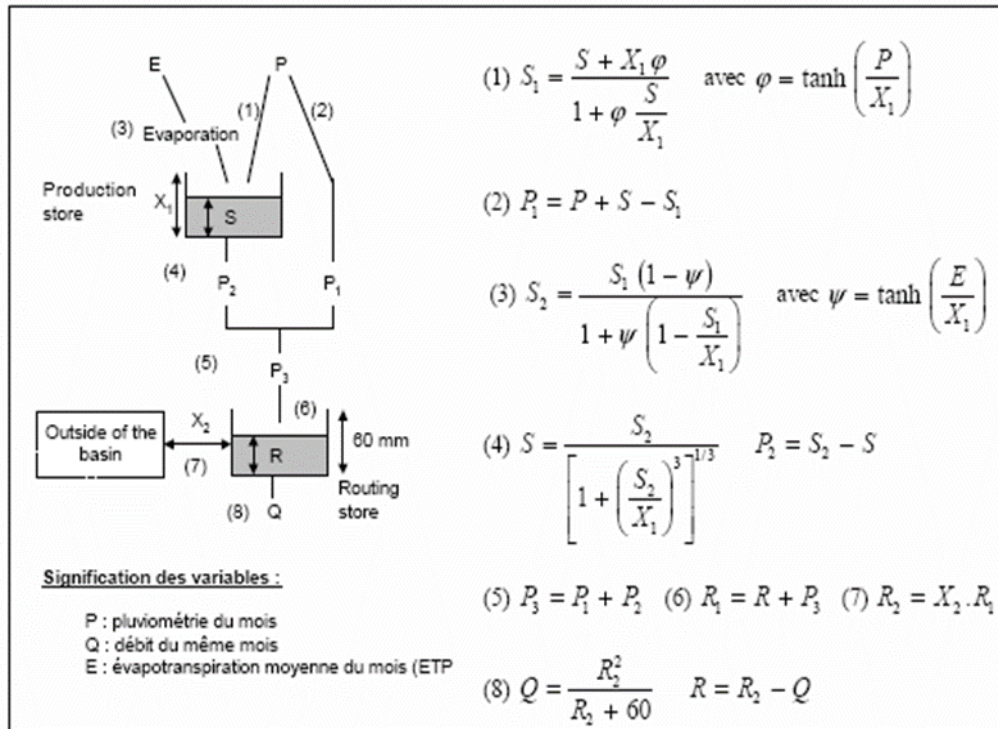


Figura 4-8 Arquitectura del modelo lluvia escurrentía GR2m

Fuente: Mouelhi 2006

#### 4.2.2.5 Etapa 5. Evaluación de eventos extremos: sequías y áreas potenciales a inundación

El proceso metodológico para el análisis de sequías se presenta en el capítulo VIII, en general está basado en el análisis de la información provenientes de la base de datos de SPI de PISCO, en la plataforma de Arc Gis y aplicación de un código en R que sistematiza la obtención de áreas afectadas por sequías; asimismo para el determinación de áreas potenciales a inundación.

#### 4.2.2.6 Etapa 6. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica

La evaluación de la pérdida de suelo, ha sido desarrollado ampliamente en el capítulo IX, en general está basado en la información de la base de datos de pérdida de suelo por erosión hídrica de alcance nacional elaborado por SENAMHI mediante el modelo RUSLE, bajo el soporte de la plataforma de Arc Gis y un código en R que sistematiza la obtención de módulos anuales de pérdida de suelo en tn/ha/año para cada una de las siete subcuenca de interés, en el periodo 1981-2014.

## **CAPÍTULO V**

### **DETERMINACIÓN DE PARAMÉTROS**

## 5 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

### 5.1 Delimitación de Subcuencas

Dado que la cuenca es la unidad más adecuada para la gestión de los recursos naturales y de los recursos hídricos, en el presente estudio se ha determinado los parámetros a nivel de subcuencas. Entendiéndose como subcuenca al espacio geográfico limitado por líneas divisorias de aguas, donde el tamaño de sus áreas de drenaje es el único criterio de organización jerárquica. Son delimitadas desde la confluencia de los ríos, no recibe drenaje de ninguna otra área pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje.

Se han delimitado siete unidades hidrográficas siendo estas Quebrada Cuchicancha, Inico, Macas, Upamayo, Anta, Corinto y Samerino, en el ámbito geográfico de los distritos de Pampas y Santiago de Tucuma.

En el distrito de Pampas se han delimitado cuatro (4/7) subcuencas Anta (13.53 km<sup>2</sup>), Corinto (8.71 km<sup>2</sup>), Samerino (13.85 km<sup>2</sup>) y Upamayo (151.17 km<sup>2</sup>).

En el distrito de Santiago de Tucuma se han delimitado dos (2/7) subcuencas: Cuchicancha (31.56 km<sup>2</sup>) y Inico (16.53 km<sup>2</sup>).

La sétima subcuenca Macas (1/7) de una superficie total de 16.89 km<sup>2</sup>. Parte su territorio, 4.5 km<sup>2</sup> se emplaza en el distrito de Pampas y 7.35 km<sup>2</sup> en el distrito de Santiago de Tucuma.

### 5.2 Parámetros morfométricos

Los parámetros morfométricos evaluados están referidos a la forma, relieve y sistema de drenaje a continuación se presenta conceptos previos a los índices evaluados.

#### 5.2.1 Parámetros de forma de la cuenca

Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar estas características por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento.

Parece claro que existe una fuerte componente probabilística en la determinación de una cuenca mediante sus parámetros y las características de la red de drenaje. Por esta razón se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales con esas de otras cuencas.

Los parámetros que describen la forma que se describen son: área, perímetro, coeficiente de compacidad, rectángulo equivalente y otros.

##### 5.2.1.1 Área de la cuenca

Es la superficie de la cuenca comprendida dentro de la curva cerrada de divortium acuarium.

Dependiendo de la ubicación de la cuenca, su tamaño influye en mayor o menor grado en el aporte de escorrentía, tanto directa como de flujo de base o flujo sostenido.

##### 5.2.1.2 Perímetro de la cuenca

Es la longitud de la línea de divortium acuarium.



### 5.2.1.3 Longitud del río principal

Es la longitud mayor de recorrido que realiza el río, desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades, hasta un punto fijo de interés, puede ser una estación de aforo o desembocadura, expresado en unidades de longitud.

### 5.2.1.4 Ancho promedio de la cuenca

Relación entre el área de la cuenca y la longitud del cauce principal, cuya expresión es la siguiente:

$$Ap=A/L$$

Donde:

AP : Ancho promedio de la cuenca (km)

A : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

L : Longitud del cauce principal (km)

### 5.2.1.5 Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius

Parámetro a dimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro, al igual que el anterior, describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.

Las cuencas redondeadas tienen tiempos de concentración cortos con gastos pico muy fuerte y recesiones rápidas, mientras que las alargadas tienen gastos pico más atenuado y recesiones más prolongadas.

$$K_c = \frac{0.282 * P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc : Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius

P : perímetro de la cuenca (km)

A : área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

De la expresión se desprende que Kc siempre es mayor o igual a 1, y se incrementa con la irregularidad de la forma de la cuenca. Este factor a dimensional constituye un índice indicativo de la tendencia de avenida en una cuenca.

Una cuenca de forma circular posee el coeficiente mínimo igual a 1 y tiene mayor tendencia a las crecientes en la medida que el valor de Kc se aproxima a la unidad; cuando se aleja de la unidad, presenta una forma más irregular con relación al círculo.

Cuando el Kc = 1: tiempo de concentración menor, cuenca circular, mayor tendencia a crecientes y Kc = 2: tiempo de concentración mayor, cuenca de forma alargada, menor tendencia a crecientes.

### 5.2.1.6 Factor de forma

Definido como el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud máxima, medida desde la salida hasta el límite de la cuenca, cerca de la cabecera del cauce principal a lo largo de una línea recta.

$$F_f = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

Ff : Factor de forma

A : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

L : Longitud de cauce principal de la cuenca (km)

Para un círculo, Ff = 0.79; para un cuadrado con la salida en el punto medio de uno de los lados, Ff = 1, y con la salida en una esquina, Ff = 0.5. (Mintegui Aguirre et al., 1993).

#### 5.2.1.7 Rectángulo equivalente

Asimila la superficie y el perímetro de la cuenca a un rectángulo equivalente. En el caso de dos cuencas con rectángulos equivalentes similares, se admite que poseen un comportamiento hidrológico análogo siempre que posean igual clima y que el tipo y la distribución de sus suelos, de su vegetación y de su red de drenaje sean comparables. (Martínez et al., 1996)

La longitud de sus lados está dado por:

$$R_e = 0.25 * P \pm \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A}$$

Donde:

Re : Longitud de sus lados (mayor y menor) en km

P : Perímetro de la cuenca (km)

A : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

#### 5.2.1.8 Radio de circularidad

Relaciona el área de la cuenca y la del círculo que posee una circunferencia de longitud igual al perímetro de la cuenca. Su valor es 1 para una cuenca circular y 0.785 para una cuenca cuadrada.

$$R_c = \frac{4 * \pi * A}{P^2}$$

Donde:

Rc : Radio de circularidad

P : Perímetro de la cuenca (km)

A : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

La Tabla 5-1 muestra los parámetros morfométricos estimados para cada una de las siete Subcuencas en estudio. La subcuenca Cuchicancha e Inicio presentan formas concéntricas con un coeficiente de compacidad de 1.24 coincidentemente y las subcuenca Corinto y Upamayo presentan formas más alargadas con un coeficiente de compacidad de 1.46 y 1.44 respectivamente.

Tabla 5-1 Parámetros de formas de las Subcuencas de estudio

Morfometría de las Subcuencas de estudio									
Parámetros de forma de las Subcuencas		Unidades	Anta	Corinto	Samerino	Upamayo	Macas	Inico	Cuchicancha
Área de la cuenca		km2	13.53	8.71	13.85	151.17	16.89	16.53	31.56
Perímetro de la cuenca		km	17.20	15.30	16.43	62.82	19.95	17.89	24.77
Longitud del río principal		km	5.86	6.59	6.21	22.00	9.22	6.55	10.10
Ancho promedio de la cuenca		km	2.31	1.32	2.23	6.87	1.83	2.53	3.13
Coeficiente de compacidad		Kc	1.32	1.46	1.25	1.44	1.37	1.24	1.24
Factor de forma		Ft	0.39	0.20	0.36	0.31	0.20	0.39	0.31
Rectángulo equivalente	Lado mayor	km	6.53	6.26	5.85	25.47	7.81	6.34	8.80
	Lado menor	km	2.07	1.39	2.37	5.93	2.16	2.61	3.59
Radio de circularidad		-	0.57	0.47	0.64	0.48	0.53	0.65	0.65

### 5.2.2 Parámetros de relieve de la cuenca

El relieve posee una incidencia más fuerte sobre la escorrentía que la forma, dado que a una mayor pendiente corresponderá un menor tiempo de concentración de las aguas en la red de drenaje y afluentes al curso principal. Es así como a una mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal. Los cálculos de los parámetros de relieve a través del cálculo de altitudes y pendientes de la cuenca, entre otros.

Para describir el relieve de una cuenca existen numerosos parámetros que han sido desarrollados por varios autores; entre los más utilizados destacan:

#### 5.2.2.1 Curva Hipsométrica

Se define como curva hipsométrica a la representación gráfica del relieve medio de la cuenca, construida llevando en el eje de las abscisas, longitudes proporcionales a las superficies proyectadas en la cuenca, en km<sup>2</sup> o en porcentaje, comprendidas entre curvas de nivel consecutivas hasta alcanzar la superficie total, llevando al eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas.

Llamada también Curva de Área – Elevación, representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes.

Si se ubica en el punto más alto de la cuenca y se calcula a partir de cada curva de nivel, las áreas acumuladas por encima de ellas, se puede construir la curva hipsométrica (Martínez et al., 1996). En general, tanto las alturas como las superficies son definidas en términos porcentuales.

Es utilizada para representar gráficamente cotas de terreno en función de las superficies que encierran.

Para su trazado se debe tener en cuenta que sobre la sección de control (altitud mínima de la cuenca), se tiene el cien por ciento de su superficie.

Las curvas hipsométricas también son asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas. (*ANEXO-TABLAS- 11.1.1. Curva Hipsométrica y ANEXO-FIGURAS - 11.2.1. Curva Hipsométrica*).

#### 5.2.2.2 Polígono de frecuencias

Se denomina así a la representación gráfica de la relación existente entre altitud y la relación porcentual del área a esa altitud con respecto al área total. (*ANEXO-FIGURAS - 11.2.2 Polígono de frecuencia*).

#### 5.2.2.3 Altitud media de la cuenca

Corresponde a la ordenada media de la curva hipsométrica, y su cálculo obedece a un promedio ponderado: elevación – área de la cuenca. (*ANEXO-TABLAS- 11.1.2. Altitud Media de la Cuenca*).

La altura o elevación media tiene importancia principalmente en zonas montañosas donde influye en el escurrimiento y en otros elementos que también afectan el régimen hidrológico, como el tipo de precipitación, la temperatura, etc. Para obtener la elevación media se aplica un método basado en la siguiente fórmula:

$$Hm = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i * a_i)}{A}$$

Donde:

Hm : Elevación media de la cuenca (msnm)

Ci : Cota media del área i, delimitada por 2 curvas de nivel (msnm)

ai : Área i entre curvas de nivel (km<sup>2</sup>)

A : Área total de la cuenca (km<sup>2</sup>)

#### 5.2.2.4 Altitud más frecuente

Es la altitud predominante con mayor porcentaje de área de la cuenca. (*ANEXO-FIGURAS - 11.2.2 Polígono de frecuencia*).

#### 5.2.2.5 Pendiente media de la cuenca

La pendiente de la cuenca tiene una importante pero compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo de los cauces. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene una influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas. (Aranda, 1998). En la medida que se incrementa el valor de la pendiente media, mayor será la posibilidad de generar crecidas, ya que la capacidad de arrastre de sedimentos y la velocidad del caudal en el caso de tormentas se incrementa, en el caso contrario los valores bajos contribuyen a que los picos de las crecidas sean menos violentos. (Ruiz, 20).

Para la estimación de la pendiente media de la cuenca, existen tres criterios que son ampliamente utilizados como: el criterio de J.W. Alvord, criterio de R.E. Horton y el criterio de Nash, del cual se aplicará el primer criterio mencionado. (*ANEXO-TABLAS -11.1.3 Pendiente Media de la Cuenca*).

#### Criterio de Alvord

Está basado, en la obtención previa de las pendientes existentes entre las curvas de nivel. Dividiendo el área de la cuenca, en áreas parciales por medio de sus curvas de nivel, y las líneas medias de las curvas de nivel. La pendiente de una porción del área es:

$$S = \frac{D}{W_i}$$

$$\text{Siendo: } W_i = \frac{a_i}{L_i}$$

Donde:

D : Desnivel entre líneas medias, aceptado como desnivel entre curvas (m)

W<sub>i</sub> : ancho de la faja analizada (m)

a<sub>i</sub> : área de la faja (m<sup>2</sup>)

L<sub>i</sub> : longitud de las curvas de nivel correspondientes a la faja

Así la pendiente media de la cuenca será la media ponderada de la pendiente de cada faja en relación con su área:

$$S = \frac{(Dn \times Lb)}{A} = \left[ \frac{(D \times L1)}{a1} \times \frac{a1}{A} \right] + \left[ \frac{(D \times L2)}{a2} \times \frac{a2}{A} \right] + \dots + \left[ \frac{(D \times Ln)}{an} \times \frac{an}{A} \right]$$

Donde:

Lb : Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca (km)

l<sub>i</sub> : Longitud de una sección

D : desnivel constante entre curvas de nivel (km)

a<sub>i</sub> : área entre curvas

A : área de la cuenca, en Km<sup>2</sup>

S : pendiente media de la cuenca

#### 5.2.2.6 Coeficiente de masividad

Es la relación entre la elevación media y el área de la cuenca.

$$C_m = \frac{E}{A}$$

Donde:

E : Elevación media de la cuenca (msnm)

A : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

#### 5.2.2.7 Coeficiente orográfico

Es el producto del coeficiente de masividad y la elevación media de la cuenca, este valor permite determinar el relieve en distintos puntos de la cuenca.

$$C_o = C_m * E$$

Donde:

C<sub>m</sub> : Coeficiente de masividad de la cuenca

E : Elevación media de la cuenca (msnm)

#### 5.2.2.8 Coeficiente de torrencialidad

Este parámetro indica la relación entre el número de cursos de primer orden con el área de la cuenca.

$$C_t = \frac{N^{\circ}R1}{A}$$

Donde:

C<sub>t</sub> : Coeficiente de torrencialidad

N° R1 : Número de ríos de primer orden

A : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

La Tabla 5-2 muestra los los parámetros de relieve estimados para cada una de las siete Subcuencas en estudio. Se observa que la subcuenca Macas está emplazada en la altitud más alta, entre los 3650 y 4300 msnm, y la subcuenca Inico en la altitud más baja entre los 2050 y 4300 msnm.

Tabla 5-2 Parámetros de relieve de las Subcuencas de estudio

Morfometría de las Subcuencas de estudio									
Parámetros de relieve de las Subcuencas		Unidades	Anta	Corinto	Samerino	Upamayo	Macas	Inico	Cuchicancha
Altitud media de la cuenca		msnm	3737	3618	3672	3854	4074	3313	3661
Altitud más frecuente		msnm	4200 - 4250	3650 - 3700	3600 - 3650	4150 - 4200	4100 - 4150	3450 - 3500	3850 - 3900
Pendiente media de la cuenca	Altitud máxima	msnm	4350	4350	4400	3300	4350	4300	4350
	Altitud mínima	msnm	2750	2750	2750	4500	3650	2050	2250
	Pendiente media	%	48	28	10	93	41	46	67
Coeficiente de masividad		-	0.7	0.8	0.8	0.0	0.0	0.3	0.006
Coeficiente orográfico		-	0.004	0.003	0.004	0.000	0.002	0.003	0.0
Coeficiente de torrencialidad		-	0.665	1.722	0.794	0.681	1.421	1.391	1.774



### 5.2.3 Parámetros de la red hidrográfica

La red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca. La red de drenaje es, probablemente, uno de los factores más importantes a la hora de definir un territorio. Diversos autores coinciden en afirmar que mientras mayor sea el grado de bifurcación del sistema de drenaje de una cuenca, es decir, entre más corrientes tributarias presente, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo.

En efecto, al presentar una densa red de drenaje, una gota de lluvia deberá recorrer una longitud de ladera pequeña, realizando la mayor parte del recorrido a lo largo de los cauces, donde la velocidad del escurrimiento es mayor. Cabe mencionar que el sistema de drenaje indica información de orden de río, la longitud a nivel de detalla, la densidad de drenaje del cual se puede inferir la población de fuentes de agua, la pendiente para caracterizar su torrencialidad, así como el tiempo de concentración que mostraran el tiempo de respuesta hidrológica ante la presencia de un evento, entre otros.

Para analizar la red hidrográfica superficial de una cuenca, se han utilizado los siguientes parámetros:

#### 5.2.3.1 Tipo de corriente

Una manera comúnmente usada para clasificar el tipo de corriente es tomar como base la permanencia del flujo en el cauce del río. Los tipos de corriente en una cuenca es la siguiente:

Ríos perennes.- son ríos que contienen agua permanentemente todo el año.

Ríos intermitentes.- son ríos que en general contienen agua sólo durante épocas de lluvia y se secan en épocas de estiaje.

Ríos efímeros.- son ríos que contienen agua, sólo cuando llueve, después se secan (quebradas).

#### 5.2.3.2 Número de orden de ríos

Es el grado de ramificación de las corrientes de agua, para su determinación se considera el número de bifurcaciones que tienen sus tributarios, asignándoles un orden a cada uno de ellos en forma creciente desde su nacimiento hasta su desembocadura. De manera que el orden atribuido al curso nos indique el grado de ramificación del sistema de drenaje. Es decir, los ríos del primer orden son las corrientes que no tienen tributarios, dos ríos del primer orden forman un río de segundo orden, dos ríos de segundo orden forman un río de tercer orden y así sucesivamente hasta llegar al curso principal y finalmente se obtiene el grado de ramificación del sistema de drenaje de una cuenca.

#### 5.2.3.3 Frecuencia de densidad de ríos

Es el número de ríos por unidad de superficie de la cuenca. Se encuentra al dividir el Número total del curso de agua (Nº ríos) entre el área total de la cuenca.

$$F_r = \frac{N^{\circ} \text{ ríos}}{A}$$

Donde:

Fr : Frecuencia de ríos

Nº ríos : Número de ríos de la cuenca

A : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

#### 5.2.3.4 Densidad de drenaje

Corresponde al cociente entre la sumatoria del largo total de los cursos de agua, de una unidad hidrográfica, y la superficie de la misma. Representa la cantidad de kilómetros de curso que existe por cada unidad de superficie.

$$Dd = \frac{L_T}{A}$$

Donde:

Dd : Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>)

L<sub>T</sub> : Longitud total de ríos de la cuenca (km)

A : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Según (Monsalve, 1999), la densidad de drenaje usualmente toma los valores siguientes: Entre 0.5 km/km<sup>2</sup>, para hoyas con drenaje pobre.

Hasta 3.5 km/km<sup>2</sup>, para hoyas excepcionalmente bien drenadas.

#### 5.2.3.5 Extensión media del escurrimiento superficial

Es la relación entre el área de la cuenca y la longitud total de la red hídrica de la misma cuenca. También se puede definir como la distancia promedio en línea recta que el agua precipitada tendría que recorrer para llegar al lecho de un curso de agua. Su valor se calcula con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{A}{4 * L_T}$$

Donde:

E : Extensión media del escurrimiento superficial

A : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

L<sub>T</sub> : Longitud total de ríos de la cuenca (km)

#### 5.2.3.6 Pendiente media del río principal

La velocidad de la escorrentía superficial de los cursos de agua depende de la pendiente de sus cauces fluviales; así a mayor pendiente habrá mayor velocidad de escurrimiento. La pendiente media del río es un parámetro empleado para determinar la declividad de una corriente de agua entre dos puntos extremos.

La pendiente media del cauce principal, según Taylor y Schwarz (Aparicio Mijares, 1992), considera que un río está formado por n tramos de igual longitud, cada uno de ellos con pendiente uniforme, para este caso es:

$$S = \left[ \frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

Donde:

n : Número de tramos iguales, en los cuales se subdivide el perfil

S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>,..., S<sub>n</sub> : Pendiente de cada tramo según  $S = H/L$

S : Pendiente media del cauce

La ecuación mostrada líneas arriba, tiene una mejor aproximación, cuando más grande sea el número de tramos, en los cuales se subdivide el perfil longitudinal del río analizar. (*ANEXO-TABLAS-11.1.3 Pendiente Media del río Principal y ANEXO-FIGURAS-11.2.3 Perfil longitudinal*).

Por lo general, se espera en la práctica, de que los tramos sean de diferentes longitudes, en este caso, Taylor y Schwarz recomiendan utilizar la siguiente ecuación:

$$S = \frac{\left[ \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^2}} \right]^2}{\sum_{i=1}^n L_i}$$

Donde:

S : Pendiente media del cauce

L : Longitud del tramo i

S<sub>i</sub> : Pendiente del tramo i

#### 5.2.3.7 Altura media del río principal

Es el valor medio entre las alturas de los extremos del río principal.

$$H = \frac{(H_{m\acute{a}x} + H_{m\acute{i}n})}{2}$$

Donde:

H : Altura media del río principal

H<sub>máx</sub> : Altura máxima del lecho del río principal (msnm)

H<sub>mín</sub> : Altura mínima del lecho del río principal (msnm)

#### 5.2.3.8 Tiempo de concentración

Este parámetro se refiere al tiempo que tarda el agua en su recorrido entre dos puntos determinados, los cuales son: el extremo superior de la cuenca y el punto donde se mide el flujo.

Para el cálculo del tiempo de concentración existen numerosas fórmulas empíricas, para el presente se ha utilizado la fórmula de Kirpich, cuya ecuación es la siguiente:

$$TC = 0.0195 * \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

TC : Tiempo de concentración (min)

L : Longitud del curso principal (m)

H : Diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal (m).

La Tabla 5-3 muestra los parámetros del sistema de drenaje estimados para cada una de las siete Subcuencas en estudio.

Se observa que la subcuenca Upamayo es la que presenta un mayor sistema de drenaje con un orden de río de nivel 5 y las subcuencas Anta, Corinto, Samerino e Inico son la que presentan menor sistema de drenaje con un orden de río de nivel 3; así mismo todas las subcuencas se caracterizan por presentar un régimen intermitente es decir que en temporadas de estiaje sus cursos principales pueden no presentar escurrimiento.

En el *ANEXO-MAPAS-Mapa N° Pm-01 al N° Pm-07* se presenta los mapas de parámetros morfométricos para cada una de las siete Subcuenca en estudio.

### 5.3 Parámetros geomorfológicos

Aunque todos los parámetros geomorfométricos están relacionados a la morfología de la superficie de la tierra, un número de ellos puede ser derivado directamente desde un modelo digital. Estos parámetros se caracterizan por permanecer constantes en el tiempo y permiten explicar las características físicas de la cuenca.

Entre los parámetros que en este estudio se abordaron tenemos a: la pendiente, orientación, rugosidad, índice elevación-relieve, curvatura, factor de profundidad S, factor de profundidad L, factor longitud y profundidad de pendiente LS.

#### 5.3.1 Pendiente media

La pendiente en un punto del terreno se define como el ángulo existente entre el vector gradiente en ese punto y el eje vertical (Felicísimo 1994).

#### 5.3.2 Orientaciones

La orientación es un parámetro que depende directamente de la pendiente, este representa la dirección horizontal de una superficie y se determina en unidades de grados

#### 5.3.3 Rugosidad

Para estimar la rugosidad en este estudio se utilizó el índice de rugosidad de Upton y Fingleton (IR), una de las utilidades de este índice se centra en la diferenciación de cuencas, basándose en la dinámica de sedimentos.

#### 5.3.4 Índice elevación-relieve

Este índice permite mediante una análisis de ventana 3x3 estimar la relación entre la distancia horizontal y vertical, el índice se encuentra normalizado por los valores máximo y mínimos tan como muestra la siguiente ecuación.

$$IER = (Z_m - Z_{min}) * (Z_{max} - Z_{min})$$

Dónde:  $Z_m$ ,  $Z_{min}$ ,  $Z_{max}$  los valores medio, mínimo y máximo de elevación en la ventana de análisis 3x3 alrededor de cada celda. Este índice permite exaltar las áreas en donde la pendiente presenta valores muy elevados.

Tabla 5-3 Parámetros de la red hidrográfica de las Subcuencas de estudio

Morfometría de las Subcuencas de estudio									
Parámetros de red hidrográfica de las Subcuencas		Unidades	Anta	Corinto	Samerino	Upamayo	Macas	Inico	Cuchicancha
Tipo de corriente		-	Intermitente	Intermitente	Intermitente	Intermitente	Intermitente	Intermitente	Intermitente
Número de orden de los ríos	Orden 1	-	9	15	11	103	24	23	56
	Orden 2	-	2	4	3	31	6	4	13
	Orden 3	-	1	1	1	9	2	1	3
	Orden 4	-	-	-	-	3	1	-	1
	Orden 5	-	-	-	-	1	-	-	-
	Nº total de ríos	-	12	20	15	147	33	28	73
	Grado de ramificación	-	3	3	3	5	4	3	4
Longitud de los ríos	Orden 1	km	10.56	6.46	6.75	87.80	10.24	12.25	24.46
	Orden 2	km	1.79	1.60	2.96	45.73	6.08	4.17	6.97
	Orden 3	km	2.02	5.88	4.48	22.24	7.17	3.57	7.46
	Orden 4	km	-	-	-	10.87	1.59	-	6.17
	Orden 5	km	-	-	-	3.96	-	-	-
	Total	km	14.37	13.93	14.20	170.59	25.09	19.99	45.06
Frecuencia de densidad de los ríos		ríos/km <sup>2</sup>	0.89	2.30	1.08	0.97	1.95	1.69	2.31
Densidad de drenaje		km/km <sup>2</sup>	1.06	1.60	1.03	1.13	1.49	1.21	1.43
Extensión media del escurrimiento Superfici.		km <sup>2</sup> /km	0.24	0.16	0.24	0.22	0.17	0.21	0.18
Cotas del	Altitud máxima	msnm	4160	4190	4360	4180	4120	3970	4080
cauce princi.	Altitud mínima	msnm	2750	2750	2750	3250	3600	2000	2200
Pendiente media del río principal		%	26	25	31	6	6	32	21
Altura media del río principal		msnm	3455	3470	3555	3715	3860	2985	3140
Tiempo de concentración		minutos	26.9	30.5	27.3	145.4	66.6	26.9	45.1

### 5.3.5 Curvatura

La curvatura en un punto,  $\eta$ , puede definirse como la tasa de cambio en la pendiente y depende, por tanto, de las derivadas de segundo grado de la altitud (es decir, de los cambios de pendiente en el entorno del punto). Según Papo (1984), puede realizarse una estimación simple de la curvatura mediante la suma de las derivadas parciales de segundo orden con respecto a los ejes X e Y, de la forma siguiente:

$$\eta = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}$$

### 5.3.6 Factor de profundidad de pendiente, S

Kinnell, 2005 menciona que el factor de profundidad de pendiente puede ser estimado mediante la siguiente formula:

$$S = 65.4 * \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.0654$$

Donde  $\theta$  es el ángulo de la pendiente.

### 5.3.7 Factor de longitud de pendiente, L

El factor de longitud de pendiente (en inglés, Slope length factor), es un parámetro adimensional, que permite estimar la relación entre la pérdida de suelo con la longitud de la pendiente dada. Kinnell, 2005 menciona que el factor de longitud de pendiente puede ser estimado mediante la siguiente formula:

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j-\text{in}} + D^2)^{m+1} - A_{i,j-\text{in}}^{m+1}}{D^{m+2} \cdot X_{i,j}^m \cdot (22.13)^m}$$

Donde  $A_{i,j-\text{in}}$  es el área contribuyente de escorrentía para la celda i, j y D es el tamaño de celda, x es un factor que determina las variaciones en el ancho del flujo producto de la orientación de la celda con respecto a las curvas de nivel, m es el exponente de la longitud de la pendiente, definido por:  $m=0.1342 \cdot \ln(\theta)+0.192$

### 5.3.8 Factor de longitud y profundidad de pendiente LS

El factor topográfico LS es la relación entre el suelo perdido en un terreno cualquiera con pendiente p y longitud  $\lambda$ , y la correspondiente a la parcela piloto utilizada en el desarrollo de la USLE. Se refiere entonces al efecto combinado de la pendiente y la longitud de los terrenos expuestos a la erosión laminar y en surcos. Su valor se obtiene por multiplicación de dos subfactores: longitud (L) y pendiente (S).

El factor LS se calculó mediante el producto del factor de longitud de pendiente (L) y el factor de profundidad de pendiente (S), representa la proporción de pérdida de suelo de una longitud de inclinación dada. Valores más que 1 representan condiciones más erosivas que la condición de referencia

En el *ANEXO-MAPAS-Mapa N° Pg-01 al N° Pg-08* se presenta los mapas de parámetros geomorfológicos en el área de estudio. Los parámetros fueron obtenidos en proyección UTM zona 18 Sur.

En general considerando el mapa de pendiente en las subcuencas en estudio, se tiene la mayor pendiente es de 75 grados localizado predominantemente hacia el Distrito de Santiago de Tucuma. Considerando el mapa de Orientación todas las subcuencas presentan un valor medio de 165°. En cuanto a la rugosidad presenta un intervalo de 0 a 0.3 presentándose así, baja rugosidad en todo el área de estudio. el Índice Elevación Relieve varía de 0 a 591: La Curvatura predominantemente en el área de estudio varía de 0.7 a 4.4. En resumen de los parámetros geomorfológicos, estos están directamente relacionados con la variación en el relieve del área de estudio.

## 5.4 Parámetros Hidrológicos

Los parámetros hidrológicos si bien también se basan en el análisis de la información cartográfica y conocimiento de la topografía de la zona de estudio, estos dan prioridad a las relaciones con las variables hidrológicas de la cuenca, las variables del sistema hidrológico cambian de tormenta a tormenta, en contraste con los parámetros que permanecen invariables.

Entre los parámetros analizados en este estudio tenemos, al índice de humedad, índice de potencia de cauce e índice de capacidad de transporte de sedimentos.

### 5.4.1 Índice topográfico de humedad, TWI

Este índice está relacionado con la humedad edáfica y refleja la tendencia del suelo a la generación de escorrentías, debido a que los perfiles con mayor humedad son más proclives a saturarse, por lo que la precipitación caída sobre ellos puede convertirse mucho más fácilmente en escorrentía.

El TWI combina la contribución al escurrimiento de un área local drenada y la pendiente de la misma, y es comúnmente usado para cuantificar el control topográfico sobre los procesos hidrológicos y está definido como (Sørensen et al., 2006):

$$TWI = \ln \left[ \frac{A}{\tan \beta} \right]$$

Dónde: A, es el área local drenada para un punto de cálculo, y  $\beta$ , es la pendiente direccional de la celda de interés (y de las 8 vecinas en el caso de utilizar un algoritmo D8).

Este modelo expresa parcialmente el volumen relativo y la cantidad de movimiento del flujo que pasará por cada punto del terreno. A mayor área drenada y menor pendiente se incrementa la concentración y saturación hídrica en los suelos, áreas con valores altos de TWI son zonas de concentración del escurrimiento.

### 5.4.2 Índice de potencia de cauce, SPI

El índice de potencia de cauce (Stream Power Index en la literatura inglesa), aporta información accesoria sobre la potencia asociada a dicho flujo, al combinar la propia área aportante (que, por la naturaleza del parámetro, resulta más adecuado utilizar el área específica), junto con la pendiente de la celda, la cual influye directamente sobre la velocidad del flujo. La expresión de este parámetro, por tanto, es de la forma.

$$SPI = A * \tan \beta$$



Dónde: A representa la acumulación de flujo y  $\beta$  la pendiente. El índice de potencia de cauce representa una primera aproximación al estudio de los procesos erosivos, ya que, por su propia definición, está muy ligado a la capacidad de los flujos para producir dichos fenómenos erosivos, sirviendo para la localización genérica de puntos donde estos se den con mayor intensidad, especialmente a nivel de cauce.

#### 5.4.3 Capacidad de transporte de sedimentos, STC

Es un índice utilizado para estimar el potencial topográfico para la erosión o deposición por medio de una expresión que representa el cambio en la capacidad de transporte de sedimentos en la dirección del flujo (Martínez 1999).

$$STC = \left( \frac{As}{22.13} \right)^{0.6} * \left( \frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^{1.3}$$

Donde:

STC : índice de capacidad de transporte de sedimentos.

As : área de drenaje específica.

B : ángulo de la pendiente.

En el *ANEXO-MAPAS-Mapa N° Ph-01 al N° Ph-03* se presenta los mapas de parámetros hidrológicos en el área de estudio.

Considerando el índice de humedad en promedio predomina el valor de 60 pero presentando mayores valores hacia la subcuencas Upamayo.

Considerando el índice de potencia de cauce, se obtuvieron mayores valores hacia el cauce de los ríos, por su mayor potencial erosivo.

Considerando el índice de transporte de sedimentos, se obtuvieron mayores valores hacia la subcuenca Upamayo, debido a sus condiciones topográficas e hidrológicas que favorecen el transporte de materiales.

En resumen de los parámetros hidrológicos, la subcuenca que presentan mayor índice de humedad, potencia de cauce y transporte de sedimentos es Upamayo debido a que su extensión territorial es mayor respecto a las seis restantes en estudio.

Los valores bajos de estos parámetros favorecen la deposición y los valores altos favorecen el transporte de material.

## **CAPÍTULO VI**

### **CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA**

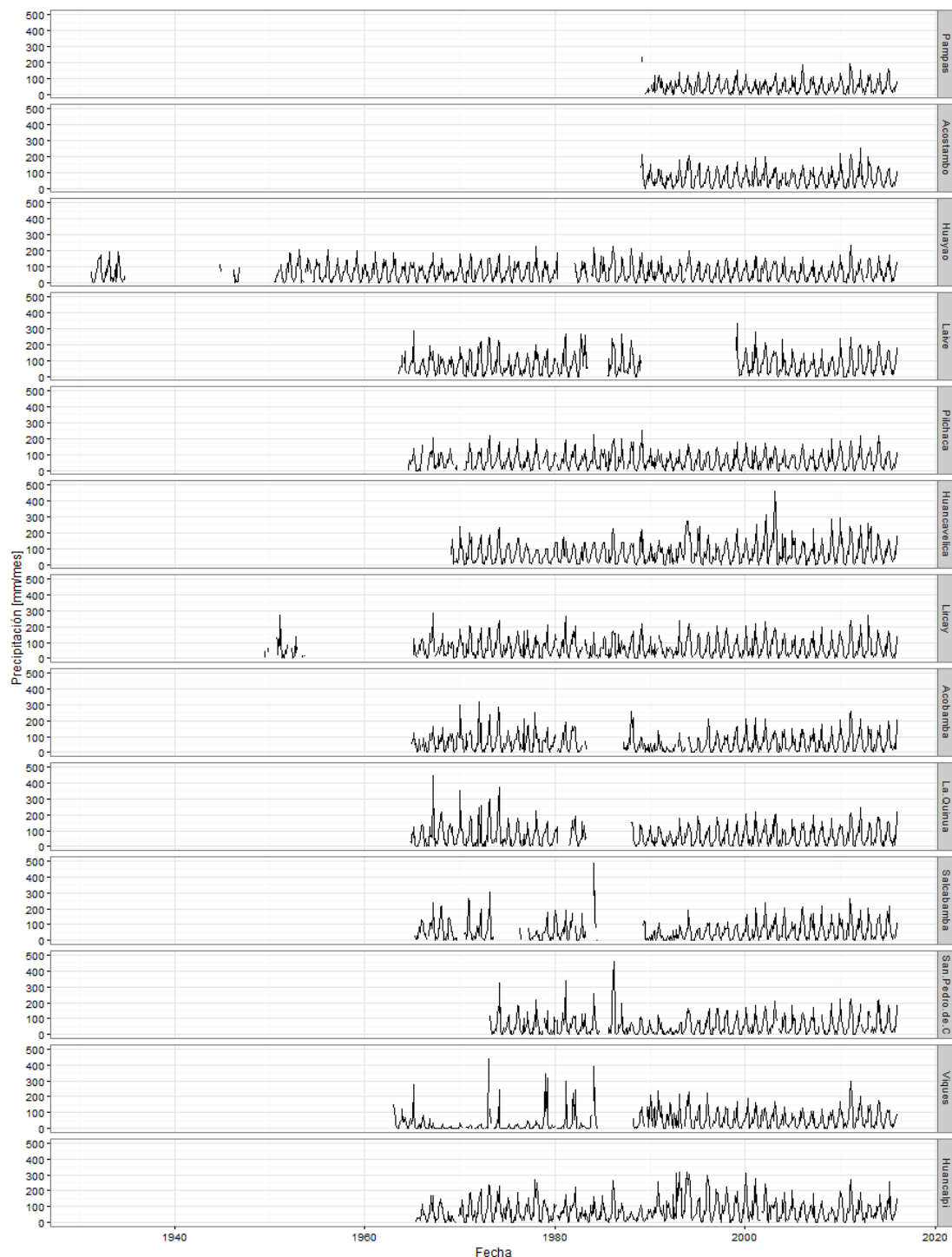
## 6 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

### 6.1 Análisis de precipitación

#### 6.1.1 Tratamientos de datos de precipitación

Para empezar, cabe mencionar que la longitud de registro de las estaciones en estudio, es muy variable, y el periodo de estudio fue definido de 1981-2015 (35 años). La Figura 6-1 muestra la distribución temporal de la precipitación, en todo su record histórico disponible, de las trece estaciones recopiladas. Cabe mencionar que actualmente se encuentran operativas.

**Figura 6-1 Distribución temporal de la lluvia por estación en todo su periodo disponible**

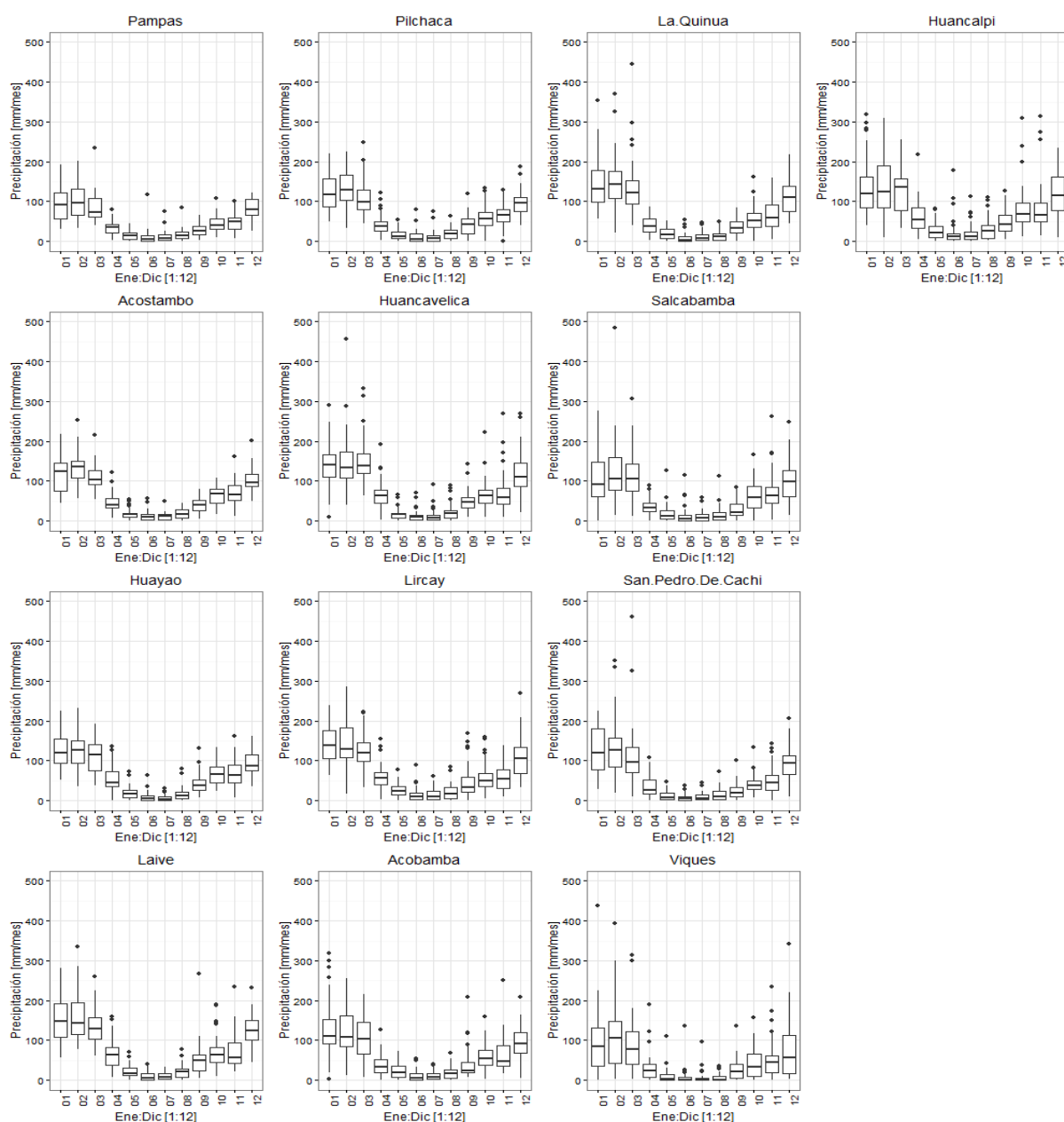


### 6.1.1.1 Análisis exploratorio de datos de precipitación

La Figura 6-2 muestra los diagramas de cajas, con posibles datos “dudosos” estos fueron comparados con los valores registrados en el mismo período en estaciones cercanas para corroborar o descartar que se trate de algún evento especial ocurrido a escala regional o local y complementariamente se evaluó la condición de dudoso mediante el test de Grubbs (asume normalidad).

Según el tamaño de las cajas se infiere que existe una importante variabilidad de la precipitación principalmente durante los meses noviembre a abril. El resto del año la variabilidad es menor.

**Figura 6-2 Diagrama de cajas de precipitación mensual por estación**



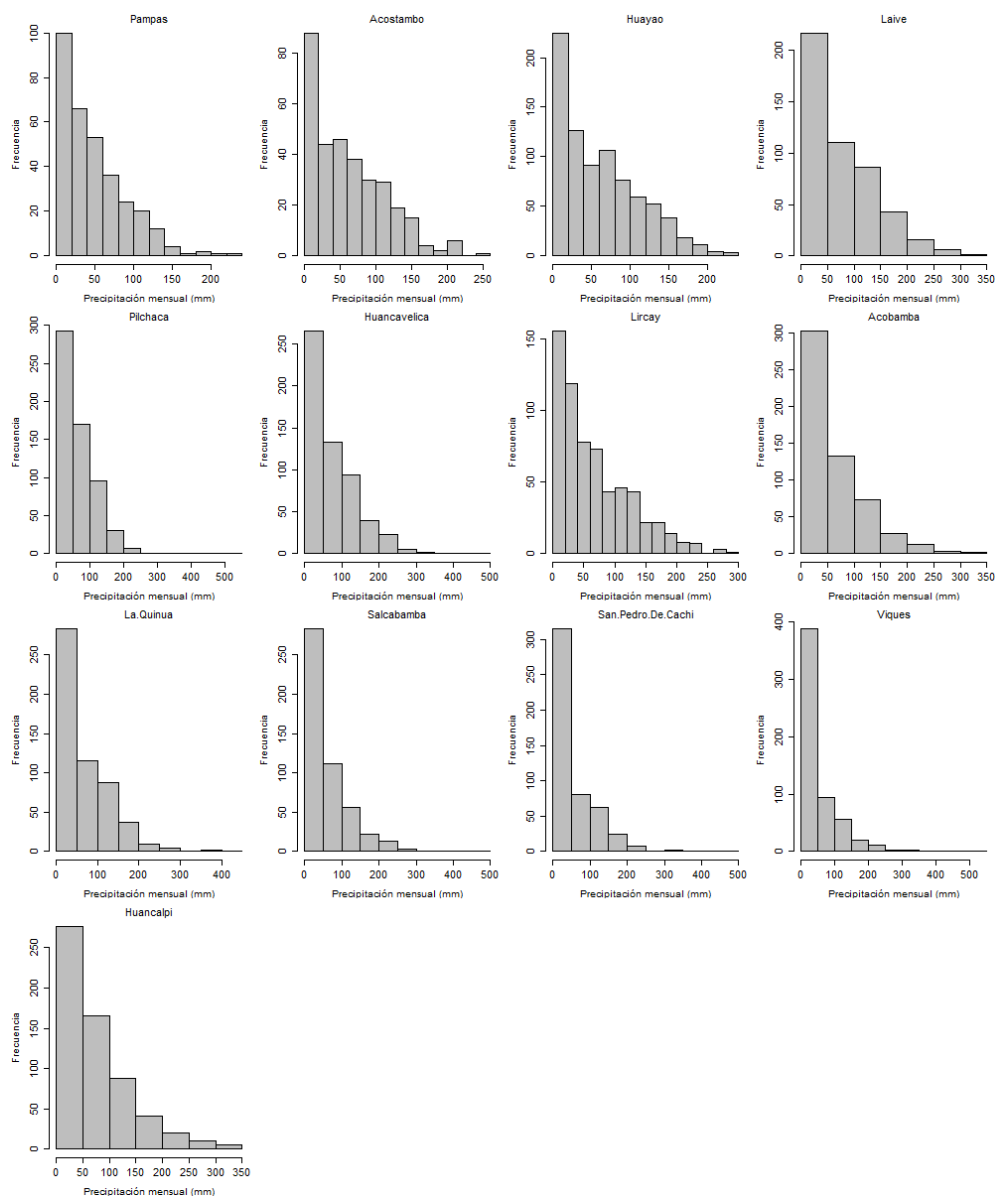
La Tabla 6-1, muestra que las estaciones de Pampas, Pilchaca, Huancavelica, La Quinua, Hualcapi y San Pedro de Cachi presentan en total 6 datos atípicos (outliers) que fueron corroborados con las observaciones de las estaciones vecinas y al no encontrar relación alguna fueron excluidas del análisis, ello representa 1% del total de datos analizados.

**Tabla 6-1 Test de Grubbs por estación**

Estaciones	N	p>0.05	T_Grubbs Modificado
		T_Grubbs critico	$G = \frac{\max[X - \bar{X}]}{S}$
<b>Pampas</b>	25	2.66	<b>3.17</b>
<b>Laive</b>	34	2.81	2.15
<b>Acobamba</b>	38	2.85	1.98
<b>Viques</b>	37	2.84	2.66
<b>Pilchaca</b>	44	2.91	<b>3.44</b>
<b>La Quinua</b>	43	2.90	<b>3.88</b>
<b>Huancalpi</b>	47	2.94	<b>3.93</b>
<b>Acostambo</b>	25	2.66	1.95
<b>Huancavelica</b>	47	2.94	<b>3.00</b>
<b>Salcabamba</b>	33	2.79	1.77
<b>Huayao</b>	58	3.02	1.96
<b>Lircay</b>	45	2.92	2.73
<b>San pedro de cachi</b>	34	2.81	<b>3.18</b>

La Figura 6-3 presentan los histogramas de frecuencias de la precipitación mensual por estaciones, ellos nos informan el rango de precipitaciones más frecuentes para cada estación caso estación Pampas la precipitación más frecuente es de 0 a 50 mm por mes; así mismo se observa que la amplitud de las lluvias, y la más extensa la presenta la estación Pilchaca y Viques con 512 mm y 515 mm por mes.

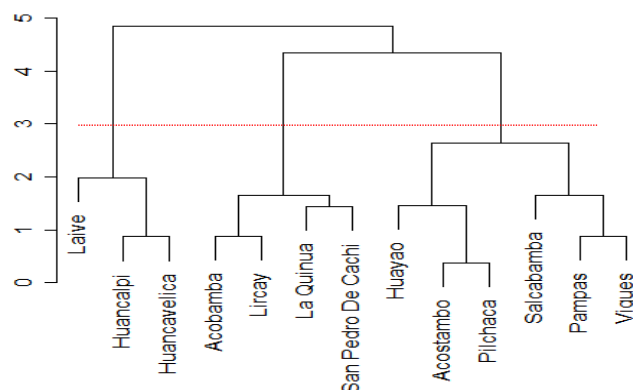
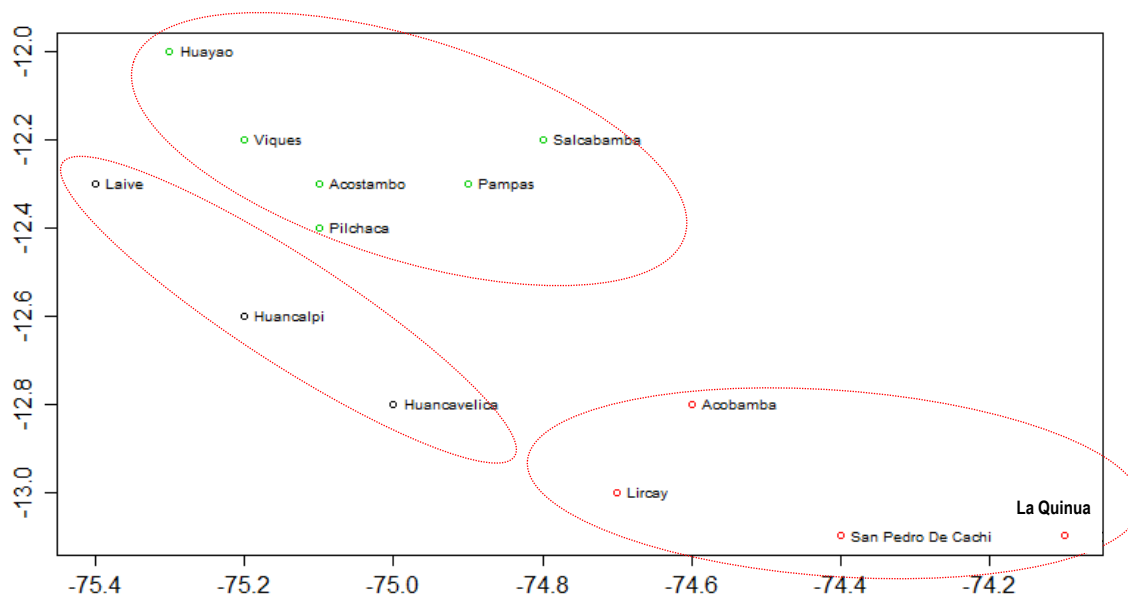
En general se concluye que la distribución de ajuste probabilístico de esta variable no es Normal, teniéndose distribuciones con asimetría y curtosis positivas.

**Figura 6-3 Histograma de la precipitación mensual por estación**

#### 6.1.1.2 Regiones homogéneas de pluviometría

La Figura 6-4 y 6-5 muestra la propuesta del agrupamiento de estaciones según la técnica de clúster – distancia de Ward y Kmedias observándose que ambas técnicas proponen evidencias para formar tres grupos respectivamente.

La Tabla 6-2 presenta la conformación de estaciones óptimas de cada uno de los grupos propuestos coincidentemente para ambos métodos.

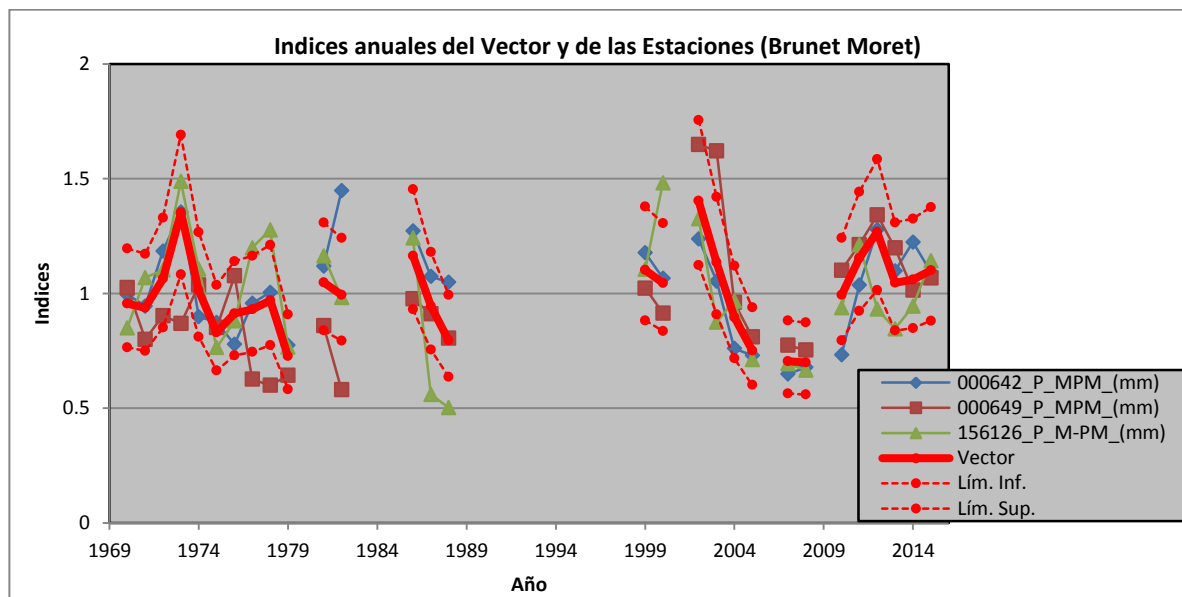
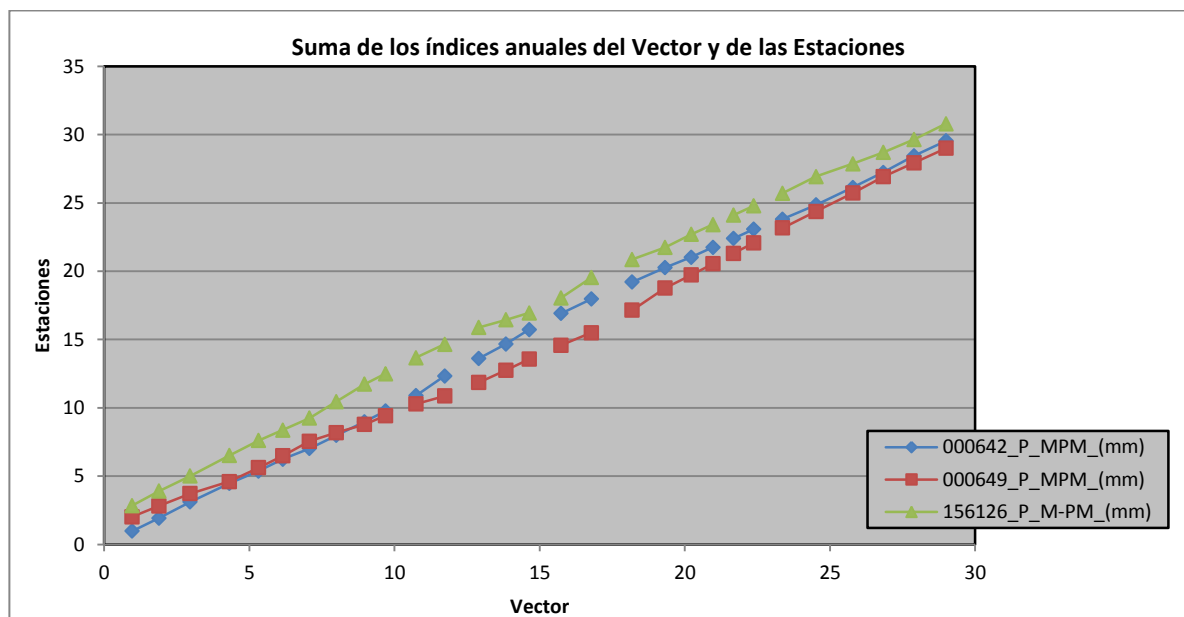
**Figura 6-4 Dendrograma con tres clúster****Figura 6-5 Agrupamiento por kmeans****Tabla 6-2 Conformación de Grupos homogéneos**

Grupos Pluviométricos		
Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Laive	Acobamba	Huayao
Huancalpi	Lircay	Acostambo
Huancavelica	La Quinua	Pilchaca
	San Pedro de Cachi	Salcabamba
		Pampas
		Viques

#### 6.1.1.3 Verificación de homogeneidad por vector regional

La Figura 6-6 muestra el vector regional del Grupo 1 sobre el periodo en común 1969-2015 y sobre la Figura 6-7 el análisis de doble masa del Grupo 1 en éste no se observan quiebres respecto al vector confirmando su consistencia. La Tabla 6-3 muestra las estaciones óptimas que conforman el Grupo 1, estas conservan el código de la base de datos creada, así como su constitución por tres estaciones, las cuales presentan una longitud en común relativamente larga y la precipitación media anual varía de 556.4 y 916.4 mm.

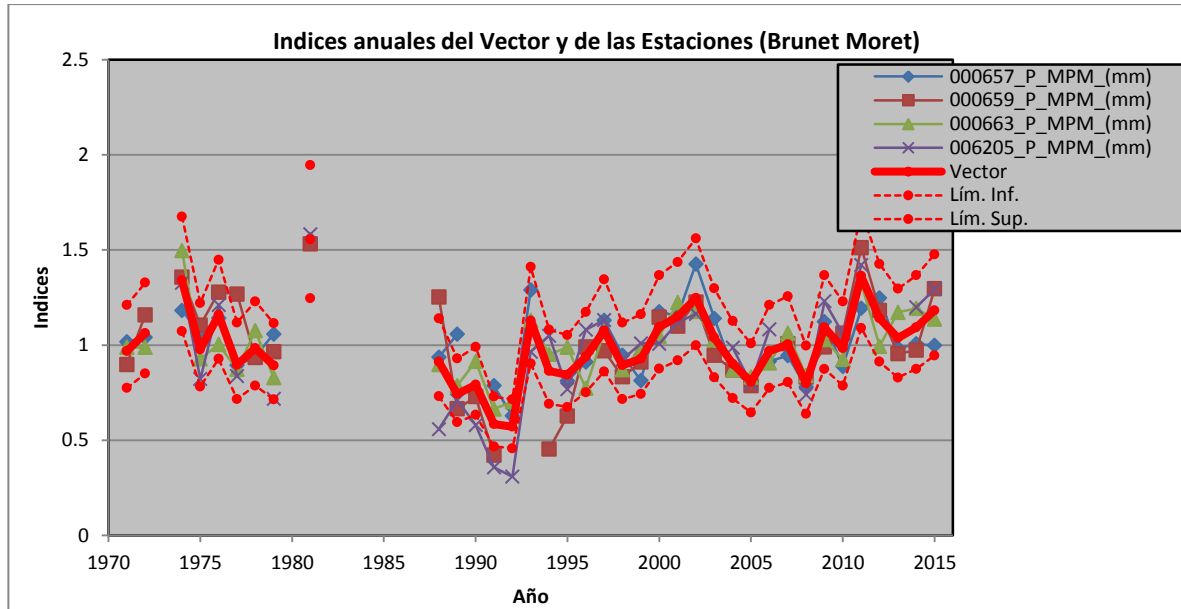


**Figura 6-6 Vector regional de la precipitación con las mejores estaciones del Grupo 1**

**Figura 6-7 Análisis de doble masa de índices de precipitación para de las mejores estaciones del Grupo 1**

**Tabla 6-3 Estaciones óptimas que conforman el Grupo 1**

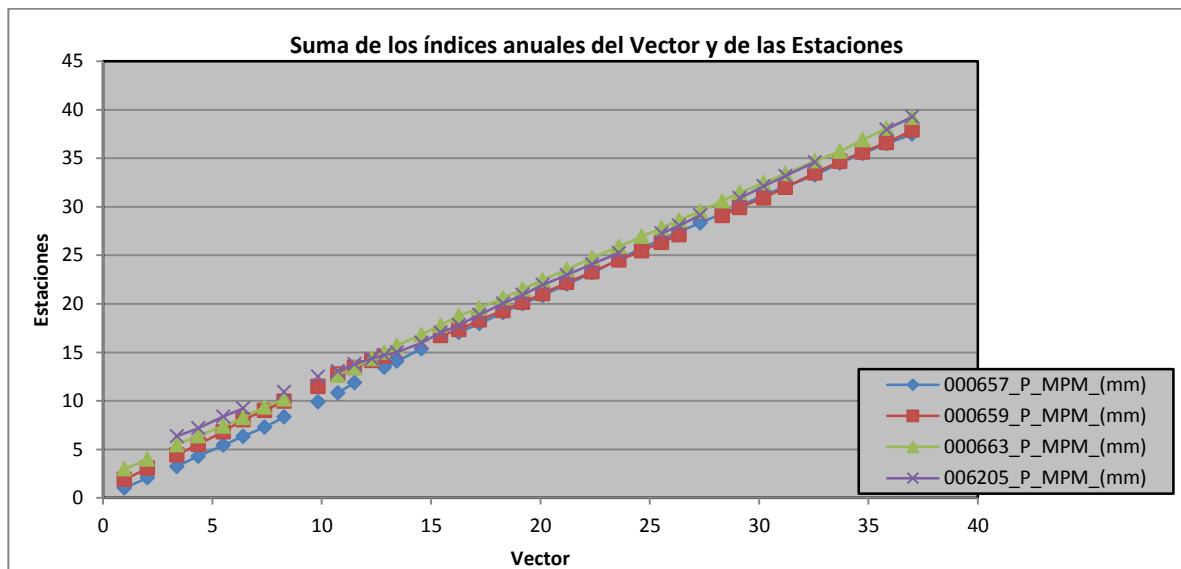
Estación	Código	N° Años	Coficiente	Media	Correlación/Vector
			de Variación	Observada	
Laive	000642_P_MPM_(mm)	29	0.207	916.4	0.766
Huancavelica	000649_P_MPM_(mm)	29	0.271	887.1	0.639
Huancalpi	156126_P_M-PM_(mm)	29	0.256	886.4	0.697
DED=0.17					

La Figura 6-8 muestra el vector regional del Grupo 2 y sobre la Figura 6-9 el análisis de doble masa del Grupo 2 en éste no se observan quiebres respecto al vector. La Tabla 6-4 se muestra las estaciones óptimas que conforman del Grupo 2, así como su conformación por cuatro estaciones, una longitud en común larga (superior a 30 años) y la precipitación media anual varía de 562.9 y 805.6 mm.

**Figura 6-8 Vector regional de la precipitación con las mejores estaciones del Grupo 2**



**Figura 6-9 Vector regional de la precipitación con las mejores estaciones del Grupo 2**



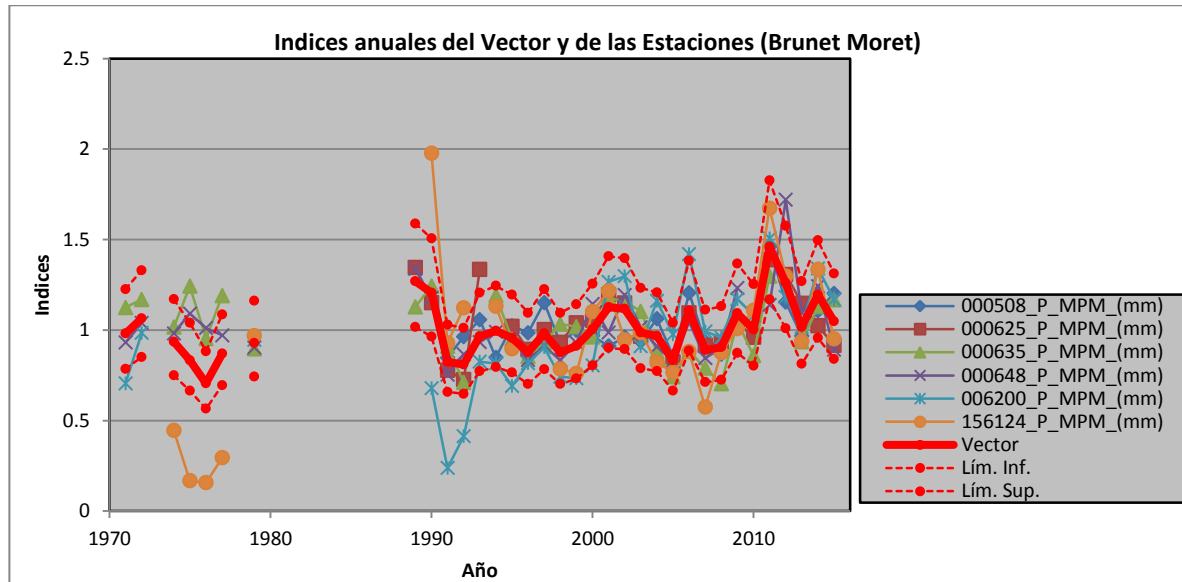
**Tabla 6-4 Estaciones óptimas que conforman el Grupo 2**

Estación	Código	Nº Años	Coefficiente de Variación	Media Observada	Correlación /Vector
Acobamba	000659_P_MPM_(mm)	34	0.843	724.9	0.843
Lircay	000657_P_MPM_(mm)	35	0.847	805.6	0.847
La Quinua	000663_P_MPM_(mm)	36	0.882	763.8	0.882
San Pedro de Cachi	006205_P_MPM_(mm)	30	0.907	638.3	0.907

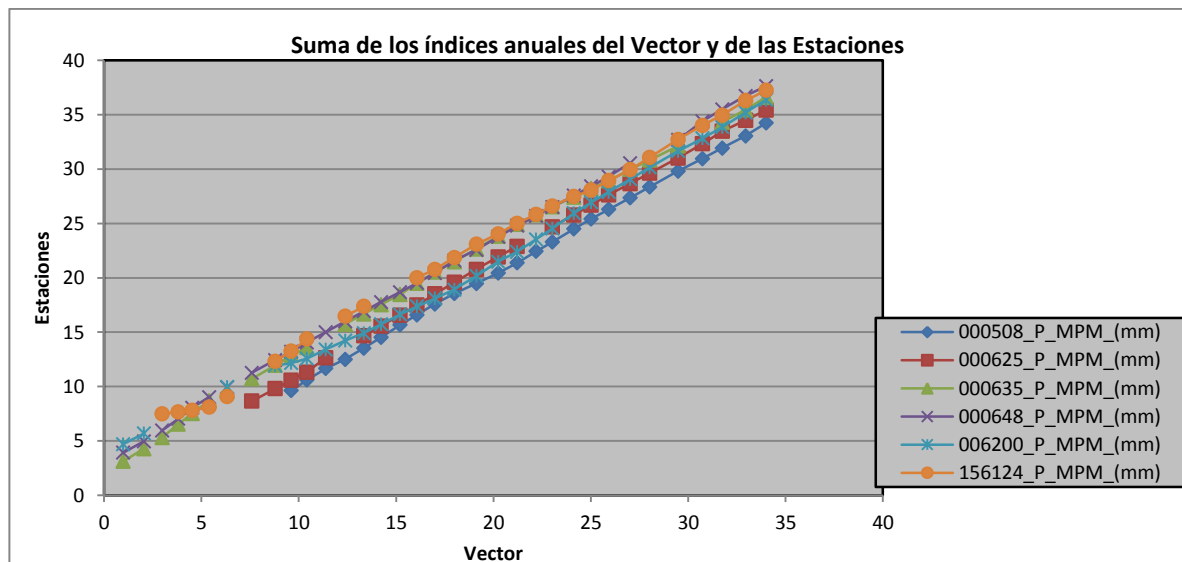
D.E. Desvíos = 0.12

La Figura 6-10 muestra el vector regional del Grupo 3 y sobre la Figura 6-11 el análisis de doble masa del Grupo 3. La Tabla 6-5 se muestra las estaciones óptimas que conforman del Grupo 3, así como su conformación por seis estaciones, una longitud en común relativamente larga y la precipitación media anual varía de 638.3 y 746.0 mm.

**Figura 6-10 Vector regional de la precipitación con las mejores estaciones del Grupo 3**



**Figura 6-11 Vector regional de la precipitación con las mejores estaciones del Grupo 3**



**Tabla 6-5 Estaciones óptimas que conforman el Grupo 3**

Estación	Código	Nº Años	Coefficiente de Variación	Media Observada	Correlación/Vector
Pampas	000508_P_MPM_(mm)	25	0.137	562.9	0.750
Acostambo	000625_P_MPM_(mm)	25	0.168	746.0	0.813
Huayao	000635_P_MPM_(mm)	32	0.162	711.4	0.561
Pilchaca	000648_P_MPM_(mm)	33	0.183	726.3	0.691
Salcabamba	006200_P_MPM_(mm)	29	0.298	659.8	0.693

<b>Viques</b>	156124_P_MPM_(mm)	28	0.424	626.5	0.766
D.E. Desvíos = 0.18					

#### 6.1.1.4 Completación y extensión de datos mensuales de precipitación

En las Tablas 6-6, 6-7 y 6-8 se presenta los valores anuales faltantes estimados en el periodo de 1981-2015 para los grupos 1, 2 y 3 respectivamente mediante los métodos de promedios, vector regional y regresión lineal identificados según el color negrita, verde y azul respectivamente.

Para el Grupo 1 se ha completado la información anual de la estación Laive basado en el método de regresión lineal con un índice de correlación de 0.50.

Para el Grupo 2 se ha completado información anual de la estación Lircay, La Quinoa y San Pedro de Cachi basado en la estación base Acobamba cuyo índice de correlación es 0.69, 0.68 y 0.74 respectivamente.

Para el Grupo 3 se ha completado información anual de la estación Pampas, Acostambo, Huayao, Salcabamba y Viques basado en la estación base Pilchaca cuyo índice de correlación es 0.39, 0.64, 0.70, 0.45 y 0.49 respectivamente.

Tabla 6-6 Precipitación anual de las estaciones del Grupo 1

Grupo 1			
Año	Laive	Huancavelica	Huancalpi
1981	1007	789	1039
1982	1302	533	877
1983	812	837	575
1984	896	837	793
1985	781	746	493
1986	1145	898	1108
1987	966	837	500
1988	943	739	448
1989	806	800	558
1990	1043	827	1176
1991	910	679	831
1992	1034	510	1154
1993	1388	1621	2078
1994	1086	1055	1290
1995	951	975	938
1996	1136	734	1419
1997	987	753	1030
1998	977	781	1005
1999	1059	940	987
2000	959	840	1323
2001	1081	1038	899
2002	1113	1515	1183
2003	948	1489	781
2004	684	883	864
2005	657	744	636
2006	654	849	886
2007	584	711	619
2008	610	692	593
2009	733	1318	767
2010	660	1012	838
2011	933	1115	1082
2012	1149	1233	832
2013	988	1101	755
2014	1101	933	843
2015	983	981	1021
Método de regresión			
	Laive		
Huancalpi	0.50		

Tabla 6-7 Precipitación anual de las estaciones del Grupo 2

Grupo 2				
Año	Acobamba	Lircay	La Quinua	San Pedro de Cachi
1981	1222	1103	1188	1044
1982	792	708	842	603
1983	526	489	602	402
1984	627	572	663	493
1985	717	647	718	584
1986	1104	966	953	1374
1987	626	572	663	484
1988	736	903	692	368
1989	832	479	607	468
1990	808	525	706	383
1991	618	304	512	236
1992	494	460	541	203
1993	14	491	871	637
1994	857	327	734	692
1995	638	452	762	506
1996	716	713	596	712
1997	888	697	827	747
1998	745	600	671	609
1999	640	655	756	666
2000	924	826	807	664
2001	907	792	942	738
2002	1122	882	906	768
2003	896	681	792	663
2004	690	626	670	651
2005	636	567	641	526
2006	720	720	698	714
2007	742	725	819	593
2008	614	598	648	488
2009	883	713	794	811
2010	697	764	712	700
2011	938	1089	1022	937
2012	980	850	766	764
2013	773	688	903	744
2014	792	792	920	791
2015	785	933	877	854
Método de Medias				
Método Vector Regional				
Método de regresión				
		Lircay	La Quinua	San Pedro de Cachi

<b>Acobamba</b>		0.69	0.68	0.74
-----------------	--	------	------	------

**Tabla 6-8 Precipitación anual de las estaciones del Grupo 3.**

<b>Grupo 3</b>						
<b>Año</b>	Pampas	Acostambo	Huayao	Pilchaca	Salcabamba	Viques
1981	594	826	811	862	1088	843
1982	574	773	743	766	767	539
1983	538	681	623	598	587	320
1984	606	855	962	916	794	841
1985	588	809	812	832	740	785
1986	622	897	891	991	843	891
1987	536	674	724	586	580	621
1988	584	800	802	814	728	774
1989	715	959	793	954	838	909
1990	678	821	874	839	468	1328
1991	468	555	640	536	164	624
1992	533	518	499	617	285	754
1993	584	952	896	665	569	947
1994	469	940	837	705	563	760
1995	565	728	667	677	477	603
1996	544	637	600	594	563	631
1997	636	715	654	651	624	709
1998	514	665	726	594	512	528
1999	552	742	716	663	505	511
2000	535	751	676	814	555	740
2001	504	853	828	703	873	817
2002	531	820	813	851	895	636
2003	519	689	776	723	628	663
2004	587	710	618	648	801	552
2005	472	587	522	590	672	515
2006	666	781	620	746	978	591
2007	517	653	556	602	684	386
2008	479	666	494	641	661	588
2009	585	744	735	879	807	677
2010	553	685	604	603	746	744
2011	807	990	912	811	1039	1124
2012	638	932	747	1226	816	871
2013	534	819	657	780	701	630
2014	612	730	793	886	924	896
2015	665	654	820	635	806	639
<b>Método de Medias</b>						
<b>Método Vector Regional</b>						
<b>Método de regresión</b>						



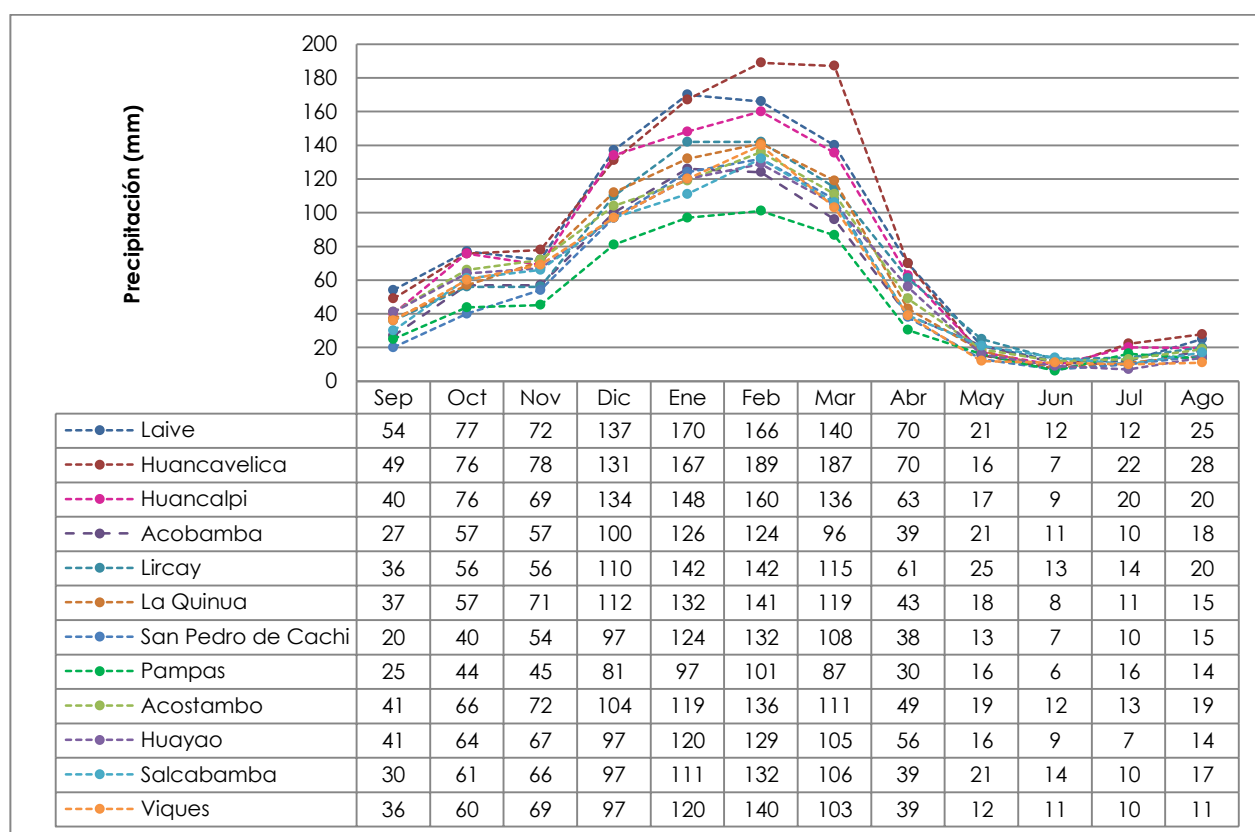
	Pampas	Acostambo	Huayao	Salcabamba	Viques	
<b>Pilchaca</b>	0.39	0.64	0.70	0.45	0.49	

### 6.1.2 Caracterización de la precipitación por estación

La Figura 6-12 muestra la precipitación media multimensual del periodo 1981-2015, a escala anual el rango de variación es del orden de 562 y 1020 mm. A escala mensual presentan módulos mensuales mayores se presentan durante noviembre a marzo y el resto del año los módulos son menores, correspondientes a un comportamiento estacional. El pico máximo se presenta en el mes de febrero con un acumulado mensual de 189 mm, el pico mínimo se presenta en el mes de junio con un acumulado mensual de 6 mm.

La precipitación media multianual en la estación Pampas, emplazada en el entorno del Distrito de Pampas es de 566 mm por año se caracteriza por presentar un comportamiento estacional; es decir con precipitaciones importantes de octubre a abril que varían de 30 y 101 mm por mes y el resto del año varia de 6 y 25 mm por mes.

**Figura 6-12 Precipitación media multimensual del período 1981-25 por estación**



### 6.1.3 Gradiente pluviométrico

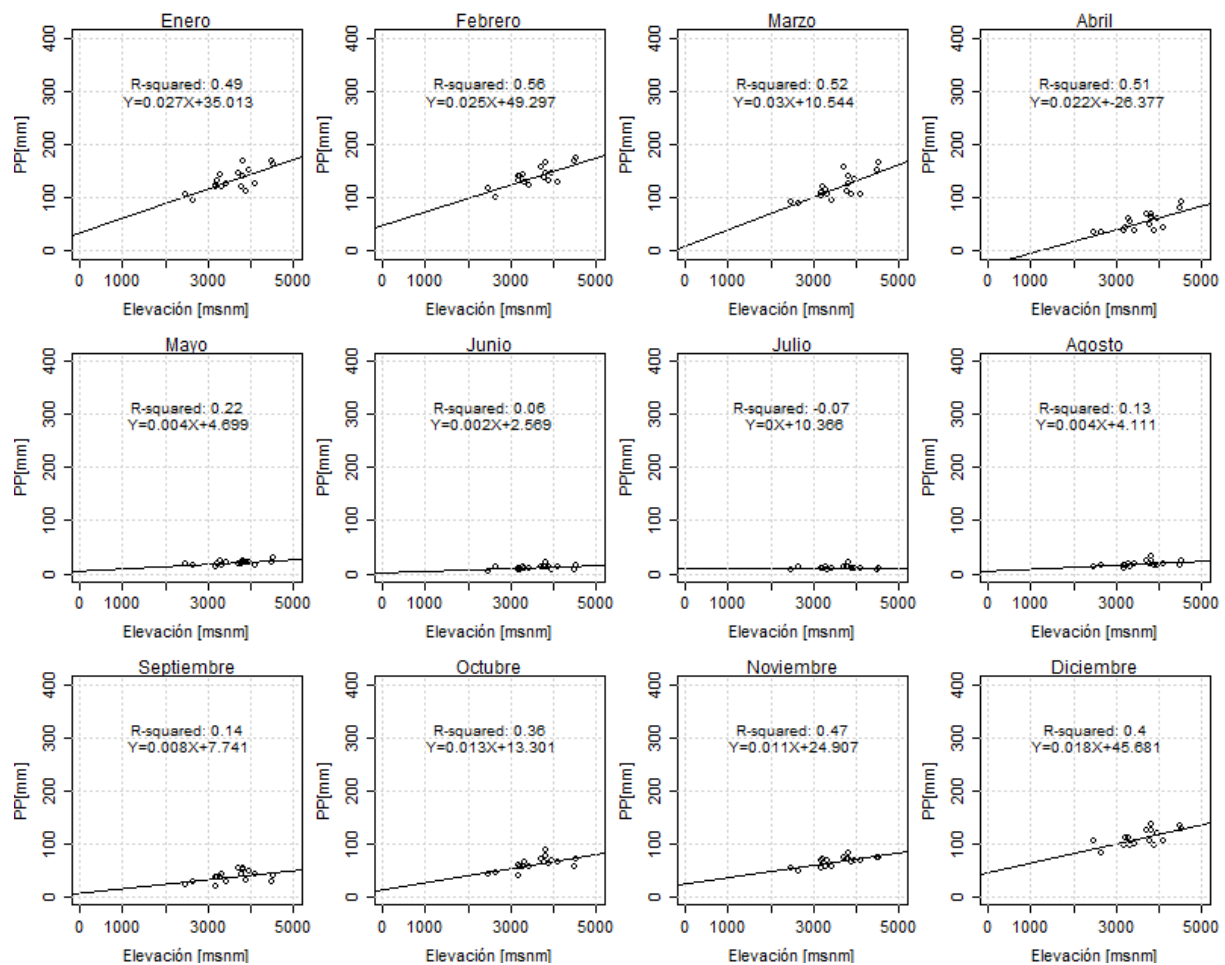
En la figura 6-13 y 6-14 se observa la relación de precipitación promedio multimensual y multianual del periodo 1981 – 2015, versus elevación respectivamente.

En los meses de enero a abril se obtiene una buena relación con coeficientes de determinación mayores de 0.50. Por otro lado en los meses de octubre, noviembre y diciembre presenta coeficientes de determinación mayores a 0.36, sin embargo mayo, junio, julio y agosto la relación entre precipitación y elevación es muy débil.

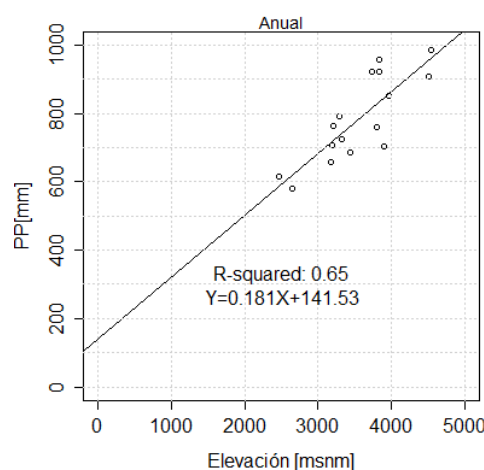
A escala anual la relación que existe entre la precipitación y la elevación es muy buena con índice de determinación de 0.65 por tanto la elevación es una buena variable predictora ya que explica el 65% de la variabilidad de la precipitación anual.

En general, para los distritos de Pampas y Santiago de Tucuma, el incremento de la precipitación es directamente proporcional a la altura es decir a un incremento en altura se estima un incremento de lluvia, con un gradiente de 0.181, asimismo en cada incremento de 1000 msnm la precipitación anual en promedio incrementa en 181 mm.

**Figura 6-13 Gradiente pluviométrico a escala mensual**



**Figura 6-14 Gradiente pluviométrico a escala anual**





#### 6.1.4 Coeficientes del modelo de regresión para la extrapolación de la precipitación

En la Tabla 6-9 se muestra los coeficientes de la regresión múltiple generados para la estimación de la precipitación a nivel mensual respectivamente. En la Tabla 6-10 muestran el índice de correlación del modelo lo cual explica el grado de asociación de las variables latitud, longitud, altitud y la precipitación.

**Tabla 6-9 Constantes de la regresión múltiple para la generación de mapas de Precipitación**

MES	PRECIPITACION			
	A (LONGITUD)	B (LATITUD)	C (ALTURA)	D (COEFICIENTE)
Enero	-0.0005	-----	0.055	215.3
Febrero	-0.00024	-----	0.058	58.4
Marzo	-----	-0.0002	0.074	2026.9
Abril	-0.0003	-0.0001	0.025	1261.6
Mayo	0.0001	0.0001	0.014	-952.1
Junio	0.00004	5.2423525126E-06	0.002	-63.0
Julio	-----	-----	0.004	-1.5
Agosto	-----	-2.5305528040E-06	0.011	1.0
Setiembre	-0.00036	-0.0001	0.015	1317.5
Octubre	-----	0.00017	0.040	-1388.1
Noviembre	-----	-----	0.028	-37.2
Diciembre	-----	0.00017	0.074	-1829.2

**Tabla 6-10 Coeficiente de determinación para el modelo de Precipitación**

PRECIPITACION (°C)	
MES	R <sup>2</sup>
Enero	0.95
Febrero	0.79
Marzo	0.91
Abril	0.95
Mayo	0.99
Junio	0.95
Julio	0.55
Agosto	0.86
Setiembre	0.96
Octubre	0.88
Noviembre	0.67
Diciembre	0.87

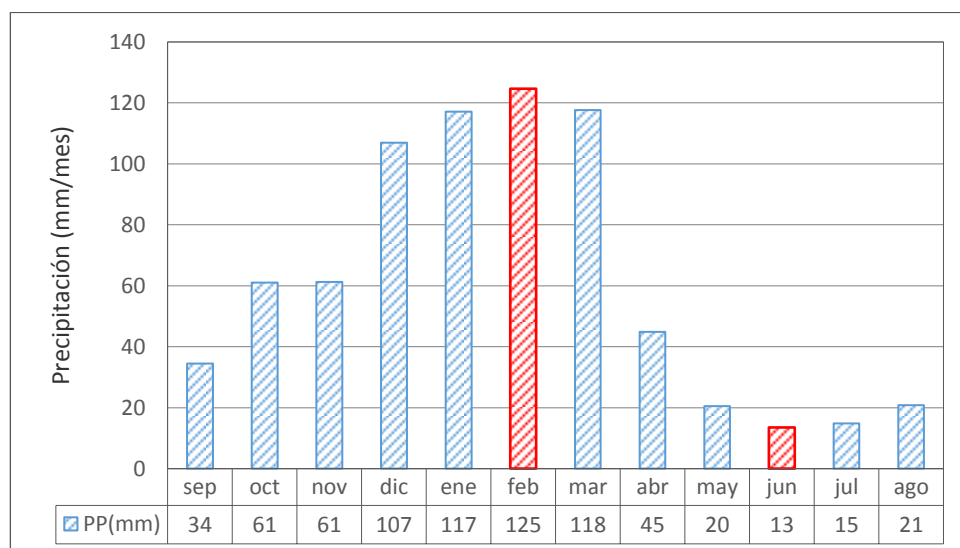
### 6.1.5 Caracterización de la precipitación del Distrito de Pampas

La precipitación media anual en el distrito es de 737 mm, los valores extremos mensuales son 125 mm en febrero y 14 mm en junio.

El comportamiento de la lluvia es de régimen estacional con módulos importantes durante octubre a abril que representan el 86% del valor anual; con módulos menores en los meses de mayo a setiembre que corresponden al 14% del valor anual.

En relación a la distribución estacional de la precipitación del distrito se tiene que el trimestre más húmedo es diciembre, enero y febrero (DEF) que concentra el 47% de la precipitación anual, siendo el trimestre junio, julio y agosto (JJA) el más seco con 7% de la precipitación anual.

Espacialmente se ha determinado que la precipitación anual es creciente con la altitud y fluctúa en un rango que va desde 96 mm a 1095 mm/año. La Figura 6-15 se presenta los módulos de precipitación media mensual que representan la pluviometría del Distrito de Pampas para el periodo 1981-2015.



**Figura 6-15 Caracterización de la precipitación en el distrito de Pampas**

### 6.1.6 Caracterización de la precipitación del Distrito de Santiago de Tucuma

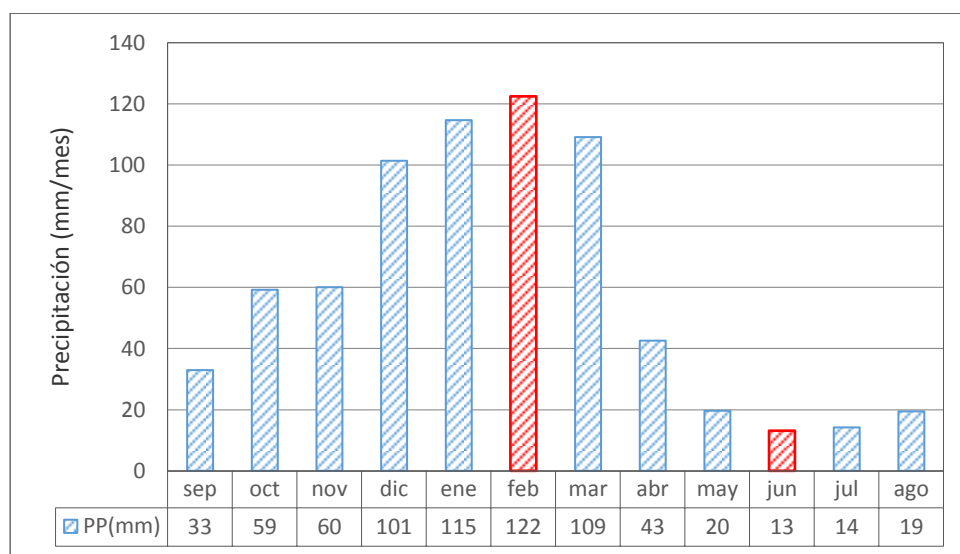
La precipitación media anual en el distrito es de 708 mm, los valores extremos mensuales son 122 mm en febrero y 13 mm en junio.

El comportamiento de la lluvia es de régimen estacional con módulos importantes durante octubre a abril que representan el 83% del valor anual; con módulos menores en los meses de mayo a setiembre que corresponden al 17% del valor anual.

En relación a la distribución estacional de la precipitación del distrito se tiene que el trimestre más húmedo es diciembre, enero y febrero (DEF) que concentra el 48% de la precipitación anual, siendo el trimestre junio, julio y agosto (JJA) el más seco con 6% de la precipitación anual.

Espacialmente se ha determinado que la precipitación anual es creciente con la altitud y fluctúa en un rango que va desde 152 mm a 1056 mm/año.

En la Figura 6-16 se presentan los módulos de precipitación media mensual que representan la pluviometría del Distrito de Santiago de Tucuma para el periodo 1981-2015.



**Figura 6-16 Caracterización de la precipitación en el distrito de Santiago de Tucuma**

En el *ANEXO-MAPAS-Mapa N° PP-01 al N° Ph-13* se presenta los mapas de precipitación a escala temporal mensual y anual y escala espacial de distrito.

### 6.1.7 Caracterización de la precipitación por Subcuencas

#### 6.1.7.1 Precipitación en la Subcuenca Anta

La precipitación media anual en el distrito es de 797 mm, los valores extremos mensuales son 133 mm en febrero y 14 mm en junio.

El comportamiento de la lluvia es de régimen estacional con módulos importantes durante octubre a abril que representan el 86% del valor anual; con módulos menores en los meses de mayo a setiembre que corresponden al 14% del valor anual.

En relación a la distribución estacional de la precipitación en esta Subcuenca se tiene que el trimestre más húmedo es diciembre, enero y febrero (DEF) que concentra el 47% de la precipitación anual, siendo el trimestre junio, julio y agosto (JJA) el más seco con 3% de la precipitación anual.

Espacialmente se ha determinado que la precipitación anual es creciente con la altitud y fluctúa en un rango que va desde 387 mm a 1060 mm/año.

En la Figura 6-17 se presentan los módulos de precipitación media mensual que representan la pluviometría de la Subcuenca Anta.

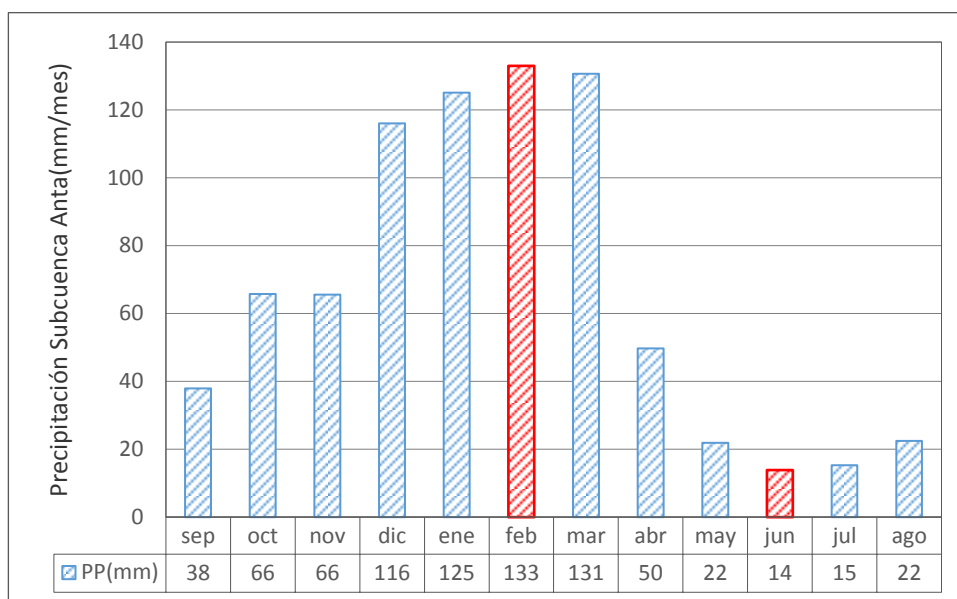
#### 6.1.7.2 Precipitación en la Subcuenca Corinto

La precipitación media anual en el distrito es de 744 mm, los valores extremos mensuales son 125 mm en febrero y 14 mm en junio.

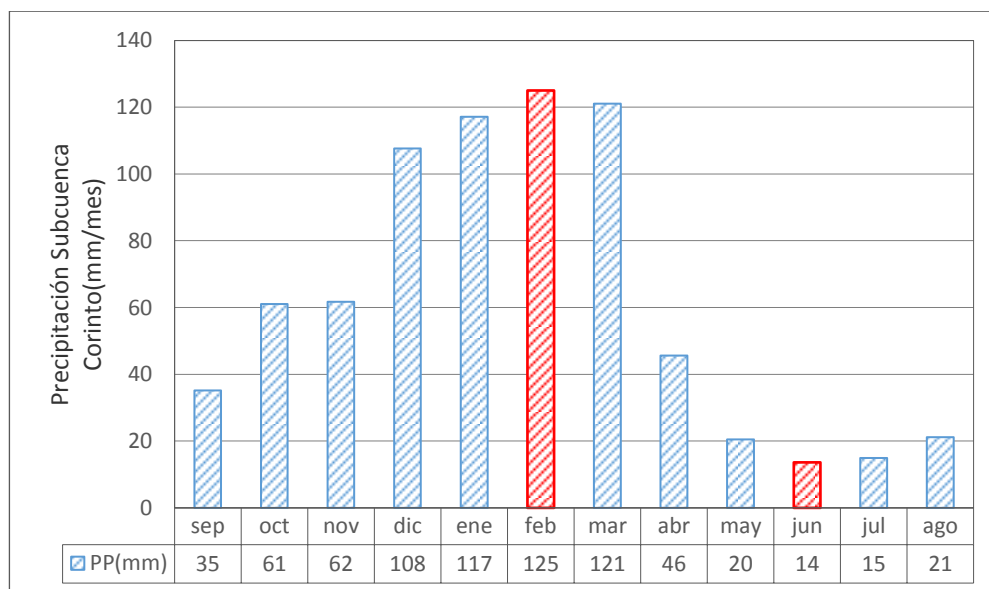
El comportamiento de la lluvia es de régimen estacional con módulos importantes durante octubre a abril que representan el 86% del valor anual; con módulos menores en los meses de mayo a setiembre que corresponden al 14% del valor anual.

En relación a la distribución estacional de la precipitación en esta subcuenca se tiene que el trimestre más húmedo es diciembre, enero y febrero (DEF) que concentra el 47% de la precipitación anual, siendo el trimestre junio, julio y agosto (JJA) el más seco con 3% de la precipitación anual.

Espacialmente se ha determinado que la precipitación anual es creciente con la altitud y fluctúa en un rango que va desde 378 mm a 1042 mm/año. La Figura 6-18 presenta los módulos de precipitación media mensual que representan la pluviometría de la Subcuenca Corinto.



**Figura 6-17 Caracterización de la precipitación en la Subcuenca Anta**



**Figura 6-18 Caracterización de la precipitación en la Subcuenca Corinto**

#### 6.1.7.3 Precipitación en la Subcuenca Samerino

La precipitación media anual en el distrito es de 762 mm, los valores extremos mensuales son 127 mm en febrero y 14 mm en junio.

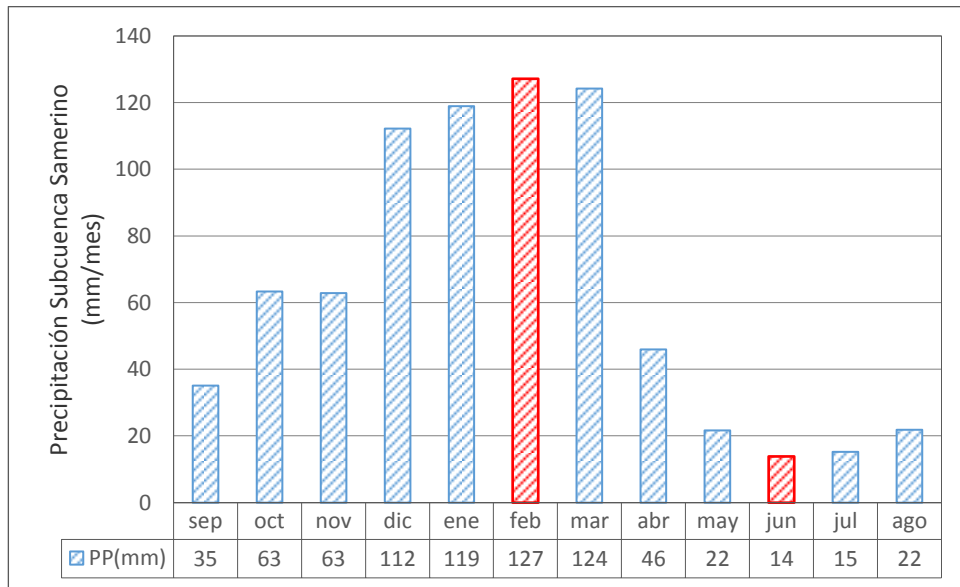


El comportamiento de la lluvia es de régimen estacional con módulos importantes durante octubre a abril que representan el 86% del valor anual; con módulos menores en los meses de mayo a setiembre que corresponden al 14% del valor anual.

En relación a la distribución estacional de la precipitación en esta subcuenca se tiene que el trimestre más húmedo es diciembre, enero y febrero (DEF) que concentra el 47% de la precipitación anual, siendo el trimestre junio, julio y agosto (JJA) el más seco con 3% de la precipitación anual.

Espacialmente se ha determinado que la precipitación anual es creciente con la altitud y fluctúa en un rango que va desde 372 mm a 1065 mm/año.

En la Figura 6-19 se presentan los módulos de precipitación media mensual que representan la pluviometría de la Subcuenca Samerino.



**Figura 6-19 Caracterización de la precipitación en la Subcuenca Samerino**

#### 6.1.7.4 Precipitación en la Subcuenca Upamayo

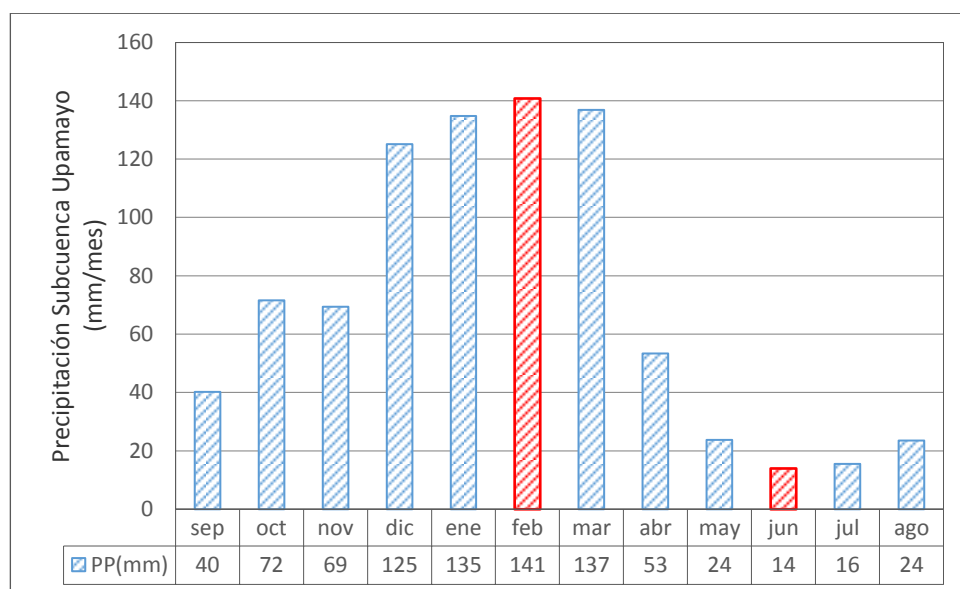
La precipitación media anual en el distrito es de 849 mm, los valores extremos mensuales son 141 mm en febrero y 14 mm en junio.

El comportamiento de la lluvia es de régimen estacional con módulos importantes durante octubre a abril que representan el 86% del valor anual; con módulos menores en los meses de mayo a setiembre que corresponden al 14% del valor anual.

En relación a la distribución estacional de la precipitación en esta subcuenca se tiene que el trimestre más húmedo es diciembre, enero y febrero (DEF) que concentra el 47% de la precipitación anual, siendo el trimestre junio, julio y agosto (JJA) el más seco con 3% de la precipitación anual.

Espacialmente se ha determinado que la precipitación anual es creciente con la altitud y fluctúa en un rango que va desde 584 mm a 1095 mm/año.

En la Figura 6-20 se presentan los módulos de precipitación media mensual que representan la pluviometría de la Subcuenca Upamayo.



**Figura 6-20 Caracterización de la precipitación en la Subcuenca Samerino**

#### 6.1.7.5 Precipitación en la Subcuenca Macas

La precipitación media anual en el distrito es de 930 mm, los valores extremos mensuales son 151 mm en febrero y marzo y 15 mm en junio.

El comportamiento de la lluvia es de régimen estacional con módulos importantes durante octubre a abril que representan el 86% del valor anual; con módulos menores en los meses de mayo a setiembre que corresponden al 14% del valor anual.

En relación a la distribución estacional de la precipitación en esta subcuenca se tiene que el trimestre más húmedo es diciembre, enero y febrero (DEF) que concentra el 47% de la precipitación anual, siendo el trimestre marzo abril mayo (MMA) el más seco con 3% de la precipitación anual.

Espacialmente se ha determinado que la precipitación anual es creciente con la altitud y fluctúa en un rango que va desde 733 mm a 1056 mm/año.

En la Figura 6-21 se presentan los módulos de precipitación media mensual que representan la pluviometría de la subcuenca Macas.

#### 6.1.7.6 Precipitación en la Subcuenca Inico

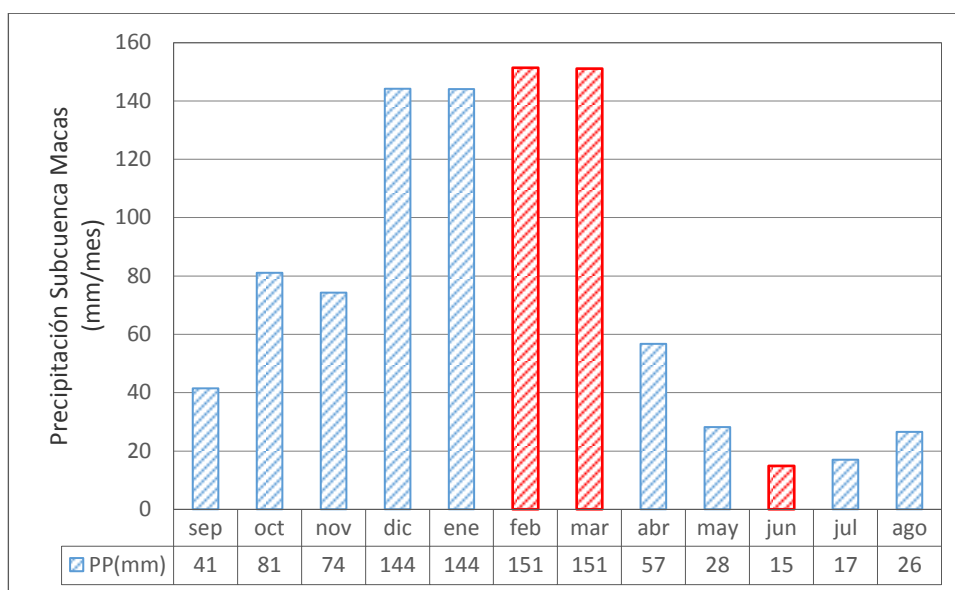
La precipitación media anual en el distrito es de 640 mm, los valores extremos mensuales son 112 mm en febrero y 13 mm en junio.

El comportamiento de la lluvia es de régimen estacional con módulos importantes durante octubre a abril que representan el 86% del valor anual; con módulos menores en los meses de mayo a setiembre que corresponden al 14% del valor anual.

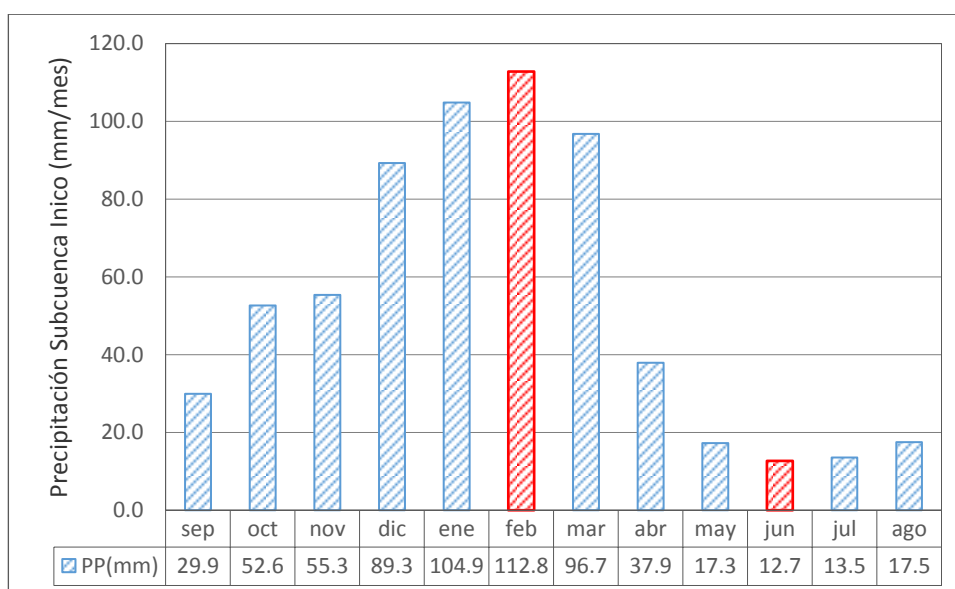
En relación a la distribución estacional de la precipitación en esta subcuenca se tiene que el trimestre más húmedo es diciembre, enero y febrero (DEF) que concentra el 48% de la precipitación anual, siendo el trimestre junio, julio y agosto (JJA) el más seco con 3% de la precipitación anual.

Espacialmente se ha determinado que la precipitación anual es creciente con la altitud y fluctúa en un rango que va desde 153 mm a 1039 mm/año.

En la Figura 6-22 se presentan los módulos de precipitación media mensual que representan la pluviometría de la subcuenca Inico.



**Figura 6-21 Caracterización de la precipitación en la Subcuenca Macas**



**Figura 6-22 Caracterización de la precipitación en la Subcuenca Inico**

#### 6.1.7.7 Precipitación en la Subcuenca Cuchicancha

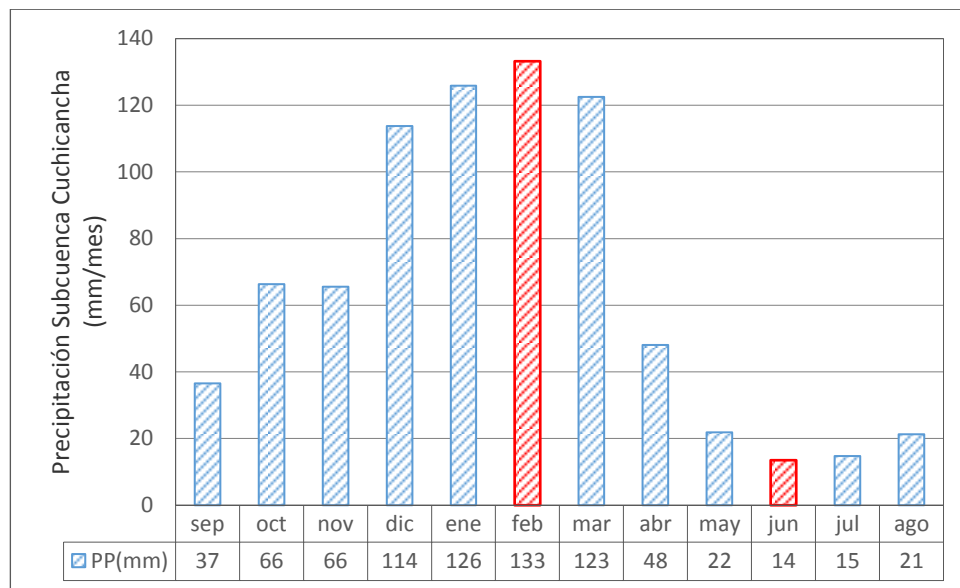
La precipitación media anual en el distrito es de 783 mm, los valores extremos mensuales son 133 mm en febrero y 14 mm en junio.

El comportamiento de la lluvia es de régimen estacional con módulos importantes durante octubre a abril que representan el 86% del valor anual; con módulos menores en los meses de mayo a setiembre que corresponden al 14% del valor anual.

En relación a la distribución estacional de la precipitación en esta subcuenca se tiene que el trimestre más húmedo es diciembre, enero y febrero (DEF) que concentra el 48% de la precipitación anual, siendo el trimestre marzo abril mayo (MMA) el más seco con 3% de la precipitación anual.

Espacialmente se ha determinado que la precipitación anual es creciente con la altitud y fluctúa en un rango que va desde 232 mm a 1047 mm/año.

En la Figura 6-23 se presentan los módulos de precipitación media mensual que representan la pluviometría de la subcuenca Cuchicancha.



**Figura 6-23 Caracterización de la precipitación en la Subcuenca Cuchicancha**

## 6.2 Análisis de la Temperatura del Aire

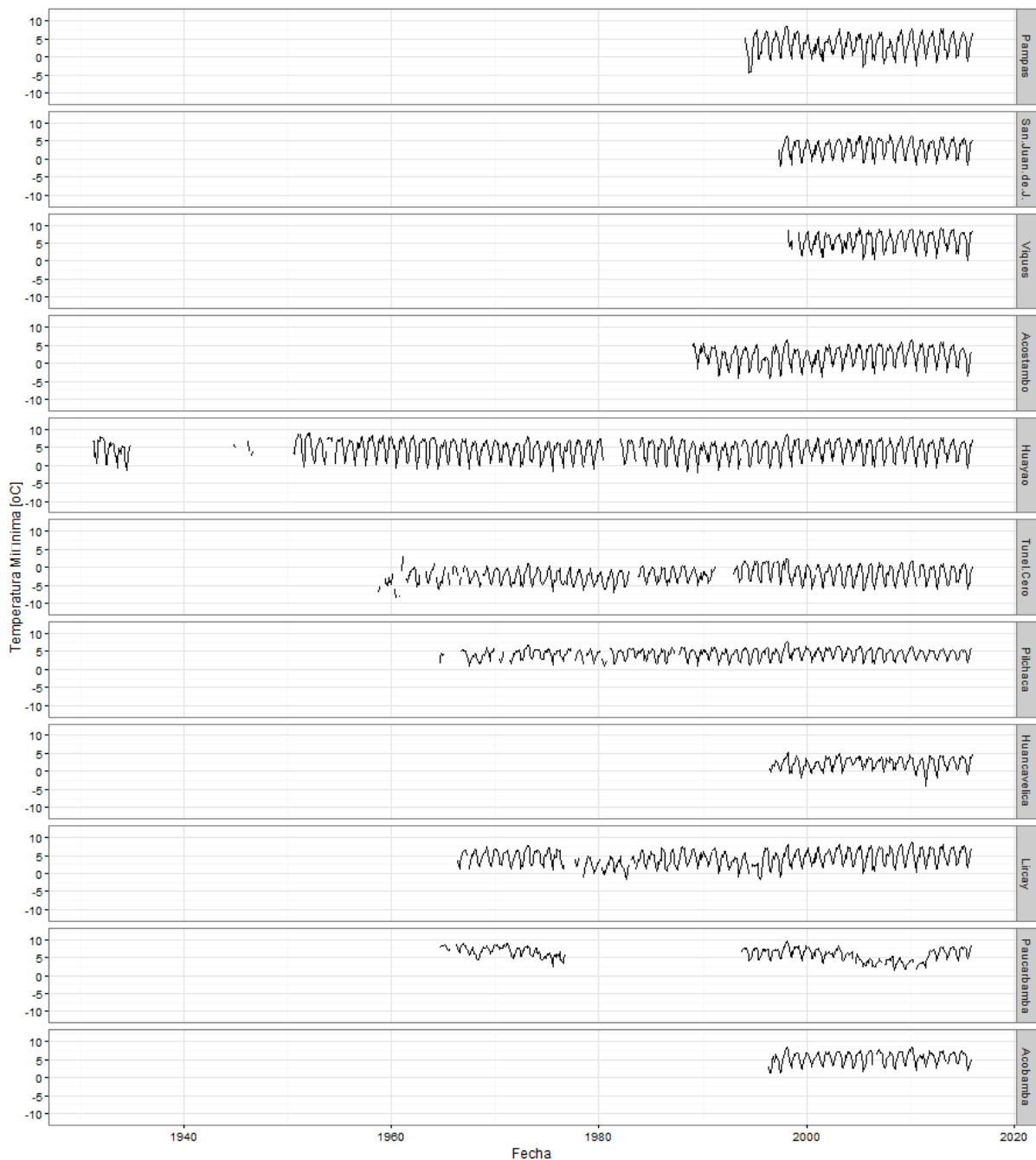
### 6.2.1 Análisis de la Temperatura mínima

En este ítem se muestra los resultados del tratamiento cualitativo de la información térmica y su extrapolación a través de la caracterización temporal y espacial de la temperatura mínima y temperatura máxima a escala mensual.

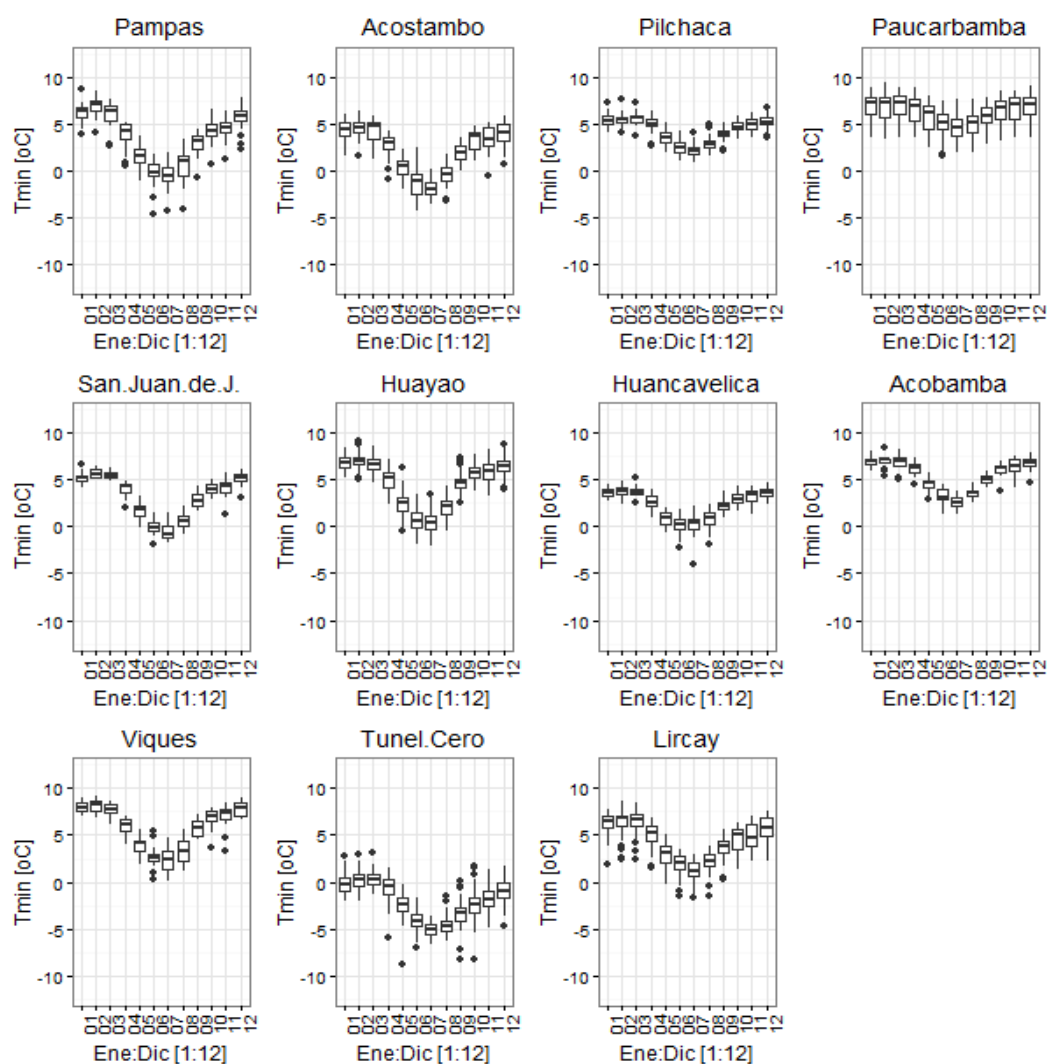
#### 6.2.1.1 Análisis exploratorio de datos de Temperatura mínima

La Figura 6-24 muestra la distribución temporal de la temperatura mínima en 11 estaciones que están ubicadas geográficamente en el entorno regional del distrito de Pampas. La longitud de registro de las estaciones es variable y predominante en el periodo 1995-2015.

**Figura 6-24 Distribución temporal de la Temperatura Mínima por estación en todo su periodo disponible**

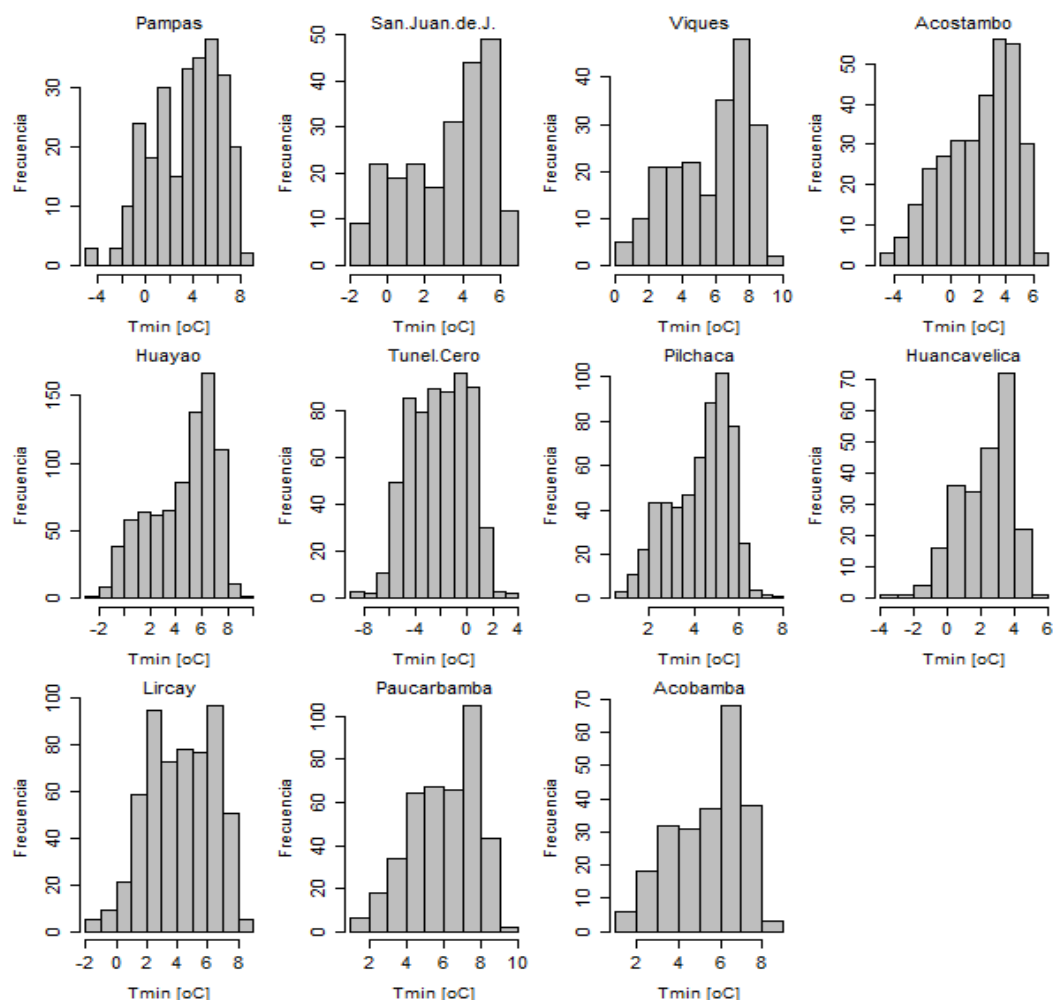


La Figura 6-25 muestra los diagramas de cajas de la temperatura mínima de escala mensual y por estación, en general se observa datos atípicos en diferentes estaciones, sin embargo esta situación se descarta al compararse con otras estaciones del entorno ya que se observa semejanza entre los valores. Según la distribución de sus módulos, los máximos se presentan de enero a marzo y los mínimos en junio a agosto.

**Figura 6-25 Diagrama de cajas mensual de la temperatura mínima por estación**

La Figura 6-26 presentan los histogramas de frecuencias de la temperatura mínima mensual por estaciones, ellos nos informan el rango de la temperatura más frecuentes en el caso de la estación Huayao es de 6° C y 7° C; así mismo se observa que la amplitud de la temperatura en el límite inferior extremo se presenta en la estación Túnel cero de -8 a 4° C y en el límite superior extremo se presenta en la estación Paucarbamba con un rango de variabilidad de 2 a 10° C.

En general se concluye que la distribución de ajuste probabilístico de esta variable no es Normal.



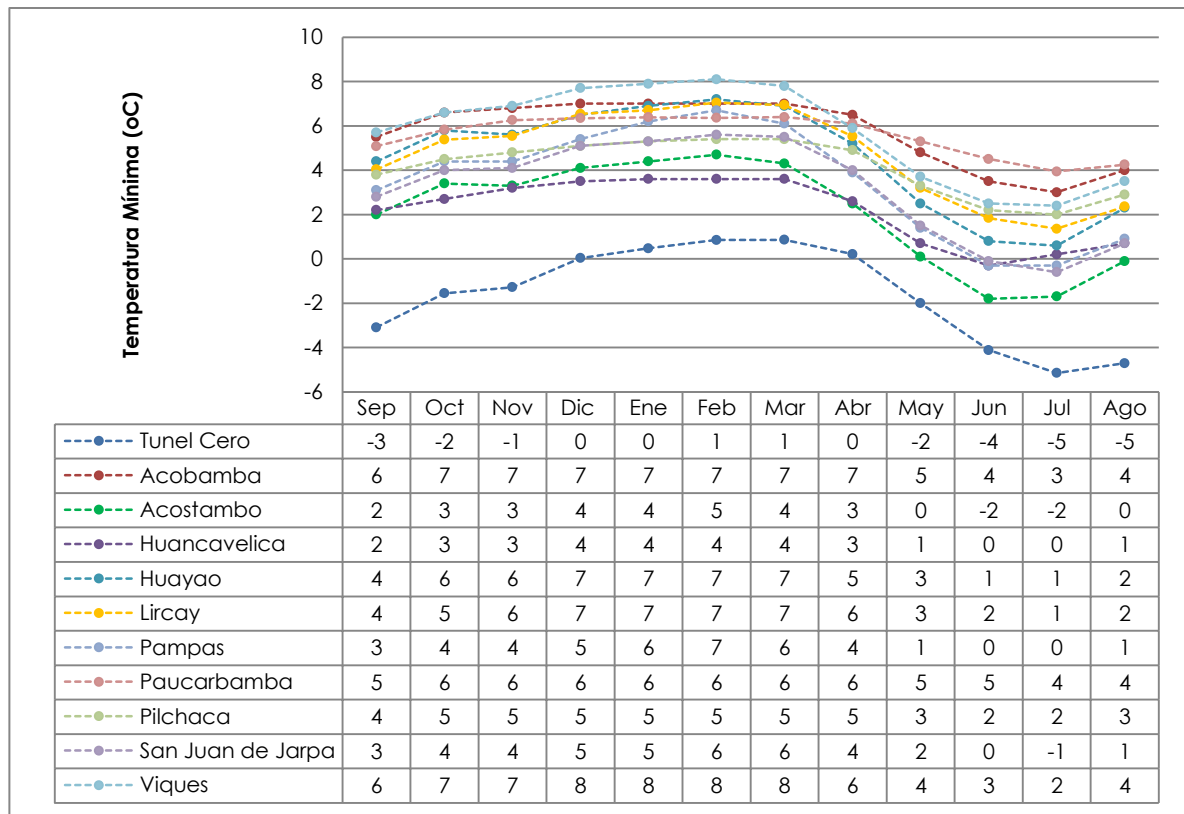
**Figura 6-26 Histograma de la temperatura mínima por estación**

#### 6.2.1.2 Caracterización temporal de la temperatura mínima por estación

Dado que la temperatura mínima es poco variable en el tiempo, no se ha completado la información faltante en el periodo de estudio, sin embargo debido a la limitada longitud de las series se ha seleccionado para su análisis, estaciones que convergieron en los siguientes criterios: a) ser una estación en funcionamiento, b) tener información en lo posible continua en el periodo seleccionado y c) longitudes superior o igual a 10 años, es así que el número total de estaciones para la caracterizar temporal y espacialmente esta variable fueron 11.

La Figura 6-27 muestra la climatología térmica de las estaciones del entorno regional siendo Túnel Cero la que presenta una variación de -5 a 1° C siendo el que presenta los módulos menores del grupo y Viques la que presenta una variación en el rango de 2 a 8° C siendo el que presenta los módulos mayores del grupo.

La temperatura mínima anual en la estación Pampas, la más cercana al área de estudio, es de 3.4° C se caracteriza por presentar un comportamiento estacional; es decir con módulos importantes de octubre a abril que varían de 4 a 7° C y de mayo a setiembre varia de 0 y 3° C.

**Figura 6-27 Temperatura Minina media multimensual del periodo 1995-2015 por estación.**

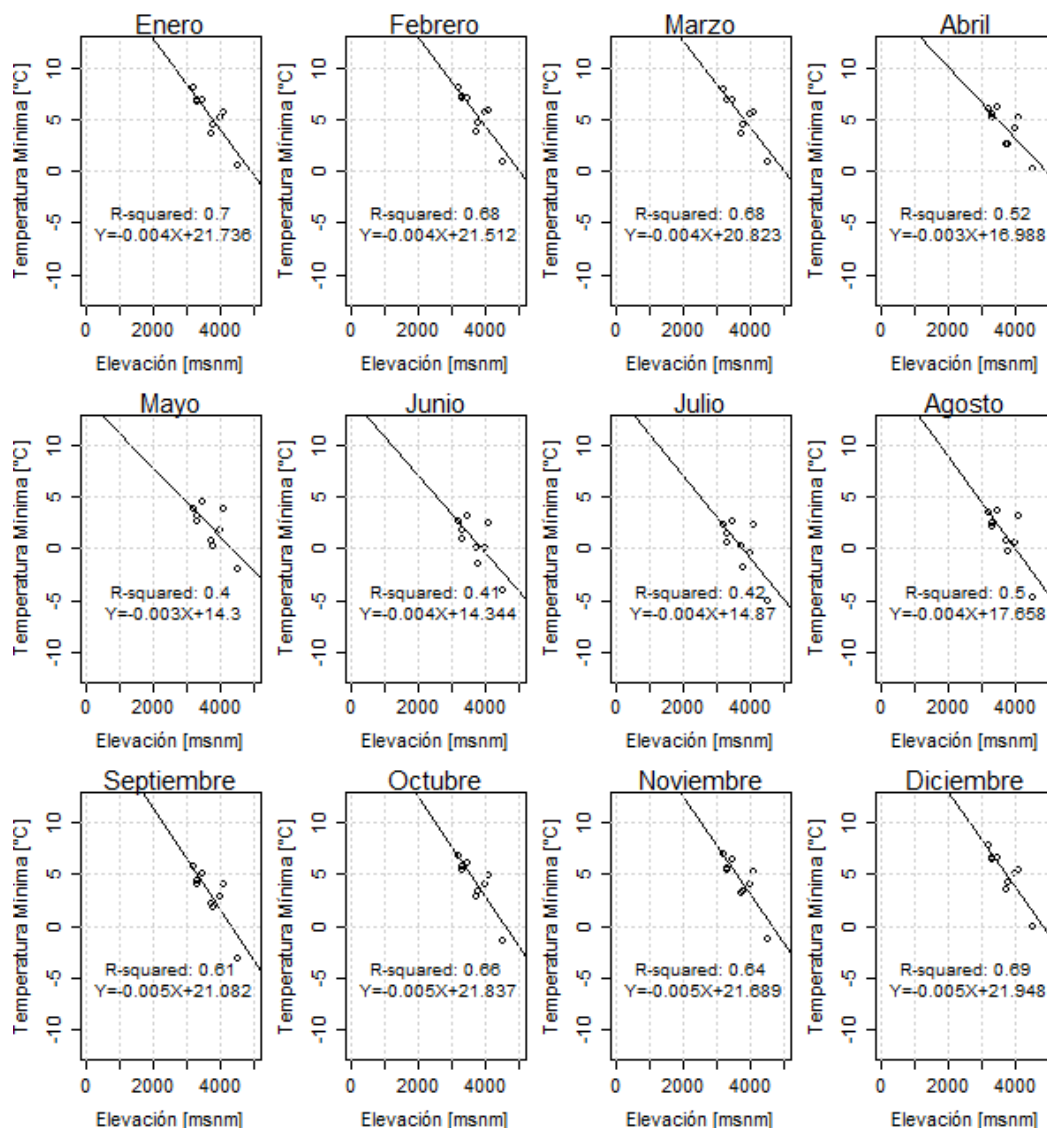
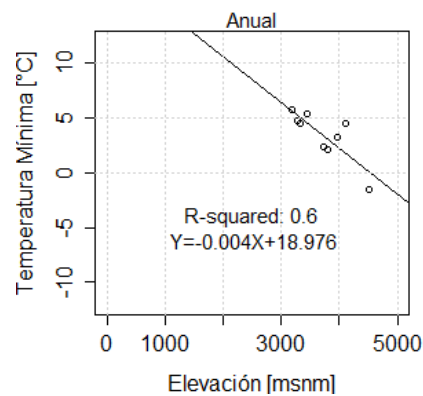
### 6.2.1.3 Gradiente de la temperatura mínima

La temperatura es un parámetro meteorológico cuya variación está ligada al factor altitudinal, disminuyendo a medida que ésta aumenta tal como puede observar en las Figuras 6-28 y 6-29 donde se muestra la relación de la temperatura mínima promedio multimensual y multianual representativa del periodo 1995 – 2015 versus elevación respectivamente.

Durante los doce meses del año se obtiene una buena relación con coeficientes de determinación mayores de 0.4.

A escala anual la relación que existe entre la temperatura mínima y la elevación es buena con coeficiente de determinación mayor a 0.60 por tanto la elevación es buena variable predictora ya que explica el 60% de la variabilidad.



**Figura 6-28 Gradiente de la temperatura mínima mensual**

**Figura 6-29 Gradiente de la temperatura mínima anual**


#### 6.2.1.4 Coeficientes del modelo de regresión para la extrapolación de la temperatura mínima

En la Tabla 6-11 se muestra los coeficientes de la regresión múltiple generados para la estimación de la temperatura mínima a nivel mensual respectivamente. En la Tabla 6-12 muestran el índice de correlación del modelo lo cual explica el grado de asociación de las variables latitud, longitud, altitud y la temperatura mínima.

**Tabla 6-11 Constantes de la regresión múltiple para la generación de mapas de Temperatura mínima**

MES	TEMPERATURA MÍNIMA			
	A (LONGITUD)	B (LATITUD)	C (ALTURA)	D (COEFICIENTE)
Enero	0.000034	-4.58645878E-06	-0.0045	43.4
Febrero	0.000033	3.184906569E-06	-0.0044	-22.9
Marzo	0.000030	-7.474764802E-06	-0.0048	71.0
Abril	-----	-0.00004	-0.0073	387.6
Mayo	-----	-0.00006	-0.00911	596.7
Junio	-----	-0.00008	-0.01004	806.8
Julio	-----	-0.00009	-0.0098	870.1
Agosto	-----	-0.00007	-0.0088	649.3
Setiembre	-----	-0.00004	-0.0077	454.7
Octubre	-----	-0.00002	-0.0069	261.2
Noviembre	-----	-0.00003	-0.0072	332.6
Diciembre	-----	-0.000029	-0.0066	213.2

**Tabla 6-12 Coeficiente de determinación para el modelo de Temperatura Mínima**

TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	
MES	R2
Enero	0.97
Febrero	0.99
Marzo	0.96
Abril	0.87
Mayo	0.83
Junio	0.77
Julio	0.76
Agosto	0.77
Setiembre	0.82
Octubre	0.83
Noviembre	0.83

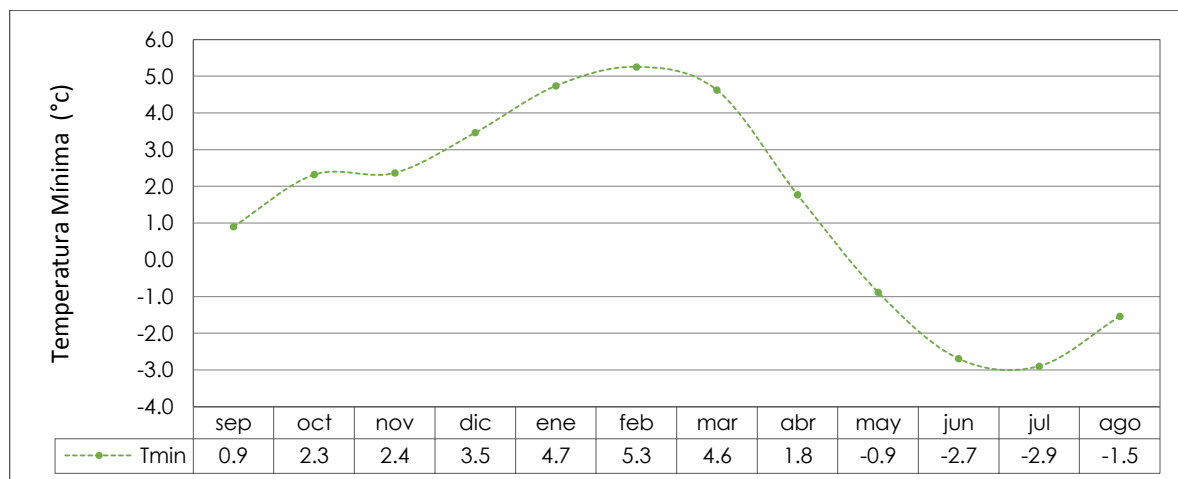
Diciembre	0.89
-----------	------

### 6.2.1.5 Caracterización de la Temperatura Mínima en el distrito de Pampas

La temperatura mínima multianual alcanza los 1.5° C, siendo el mes más cálido febrero con una temperatura de 5.3°C y el mes más frío es julio con una temperatura de -2.9°C.

Espacialmente la temperatura mínima en el distrito decrece con la altitud desde -5.0 °C hasta 9.0 °C

En la Figura 6-30 se ilustra este comportamiento de la temperatura mínima en el Distrito de Pampas representativa del periodo 1995-2015.



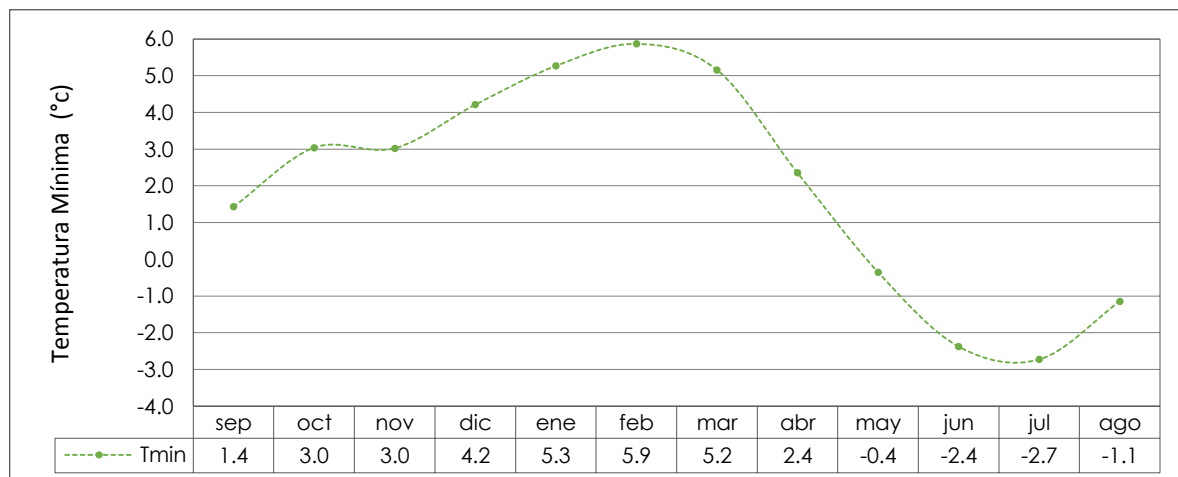
**Figura 6-30 Caracterización de la Temperatura Mínima en el distrito de Pampas**

### 6.2.1.6 Caracterización de la Temperatura Mínima en el distrito de Santiago de Tucuma

La temperatura mínima multianual alcanza los 2° C, siendo el mes más cálido febrero con una temperatura de 5.9°C y el mes más frío es julio con una temperatura de -2.7°C.

Espacialmente la temperatura mínima en este Distrito decrece con la altitud desde -4.0 °C hasta 12 °C

En la Figura 6-31 se ilustra este comportamiento de la temperatura mínima en el distrito de Santiago de Tucuma.



**Figura 6-31 Caracterización de la Temperatura Mínima en el distrito de Santiago de Tucuma**

En el *ANEXO-MAPAS-Mapa N° TMIN-01 al N° TMIN-13* se presenta los mapas de temperatura mínima a escala temporal mensual y anual y escala espacial de distrito.

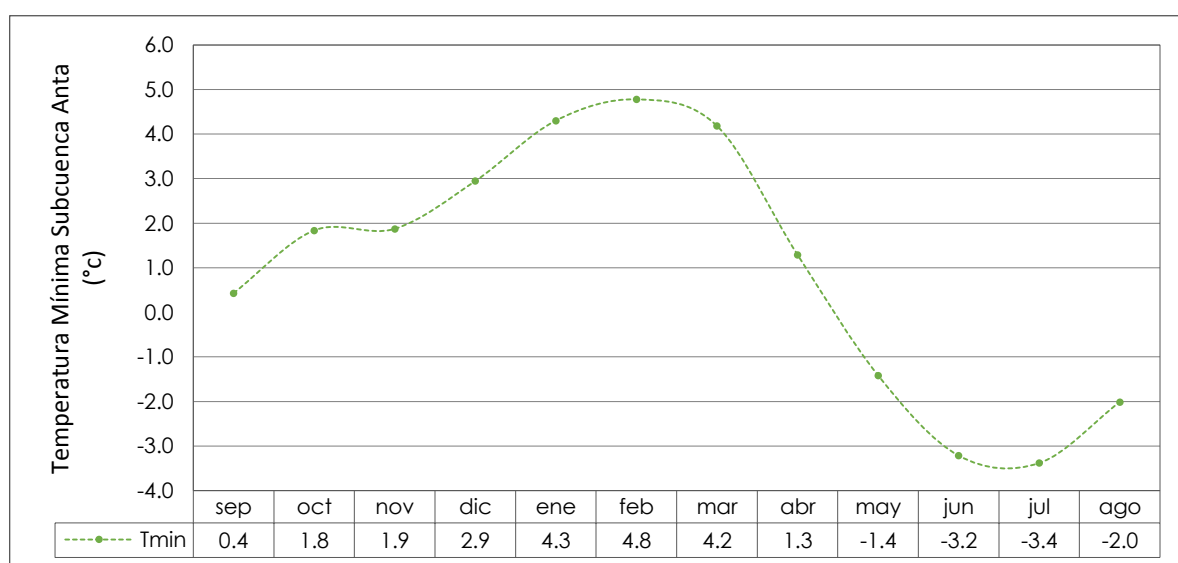
#### 6.2.1.7 Caracterización de la Temperatura Mínima por subcuenca

- **Temperatura Mínima en la Subcuenca Anta**

La temperatura mínima multianual alcanza los 1° C, siendo el mes más cálido febrero con una temperatura de 4.8°C y el mes más frío es julio con una temperatura de -3.4°C.

Espacialmente la temperatura mínima en esta subcuenca decrece con la altitud desde -4.0 °C hasta 9.0 °C

En la Figura 6-32 se ilustra este comportamiento de la temperatura mínima para la subcuenca Anta.



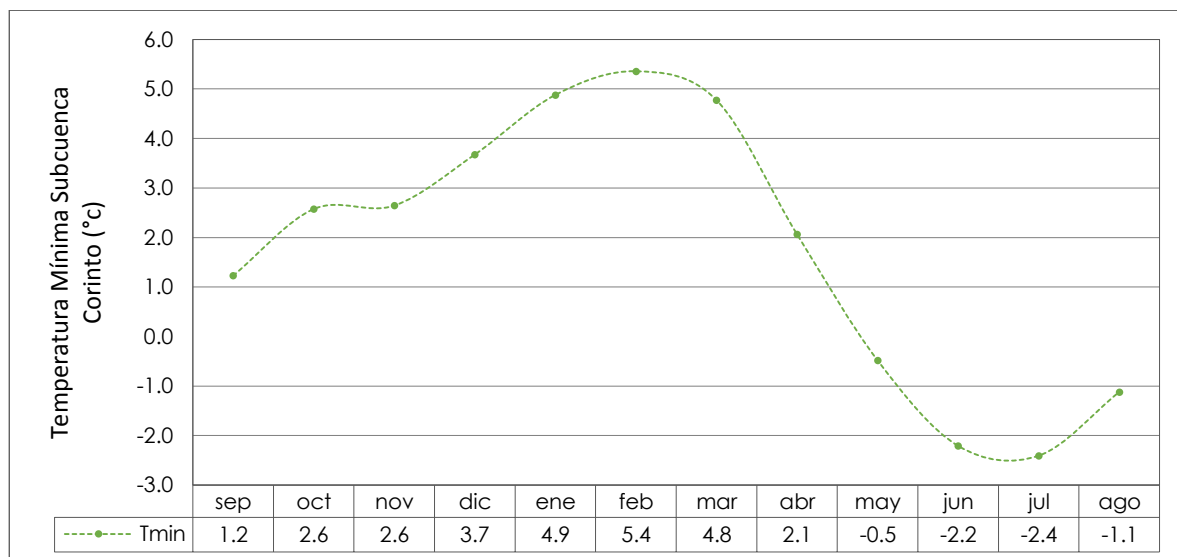
**Figura 6-32 Caracterización de la Temperatura Mínima en la Subcuenca Anta**

- **Temperatura Mínima Subcuenca Corinto**

La temperatura mínima multianual alcanza los 1.7° C, siendo el mes más cálido febrero con una temperatura de 5.4°C y el mes más frío es julio con una temperatura de -2.4°C.

Espacialmente la temperatura mínima en esta subcuenca decrece con la altitud desde -3 °C hasta -9°C.

En la Figura 6-33 se ilustra este comportamiento de la temperatura mínima para la subcuenca Corinto.



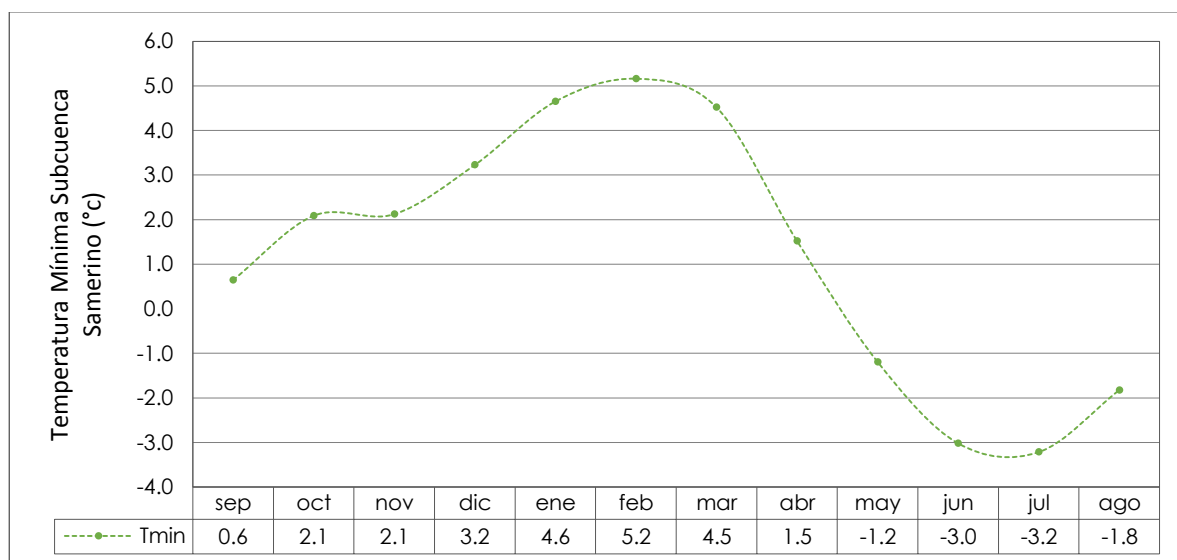
**Figura 6-33 Caracterización de la Temperatura Mínima en la Subcuenca Corinto**

- **Temperatura Mínima Subcuenca Samerino**

La temperatura mínima multianual alcanza los 1.2° C, siendo el mes más cálido febrero con una temperatura de 5.2°C y el mes más frío es julio con una temperatura de -3.2°C.

Espacialmente la temperatura mínima en esta subcuenca decrece con la altitud desde -5 °C hasta -9 °C

En la Figura 6-34 se ilustra este comportamiento de la temperatura mínima para la subcuenca Samerino.



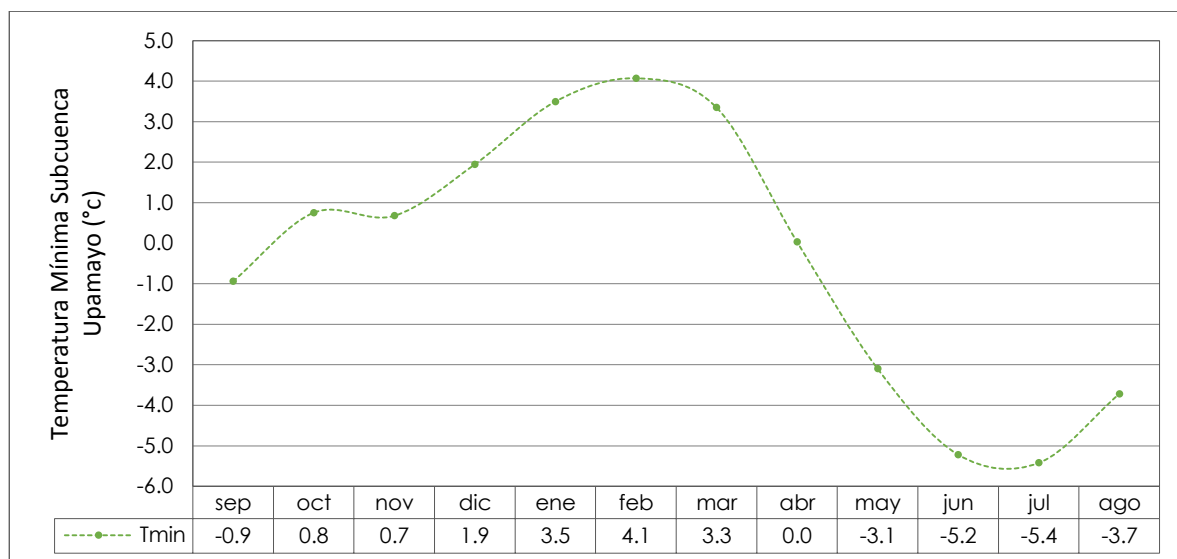
**Figura 6-34 Caracterización de la Temperatura Mínima en la Subcuenca Samerino**

- **Temperatura Mínima Subcuenca Upamayo**

La temperatura mínima multianual alcanza los -0.3° C, siendo el mes más cálido febrero con una temperatura de 4.1°C y el mes más frío es julio con una temperatura de -5.4°C.

Espacialmente la temperatura mínima en esta subcuenca decrece con la altitud desde -5°C hasta -4 °C

En la Figura 6-35 se ilustra este comportamiento de la temperatura mínima para la subcuenca Upamayo.



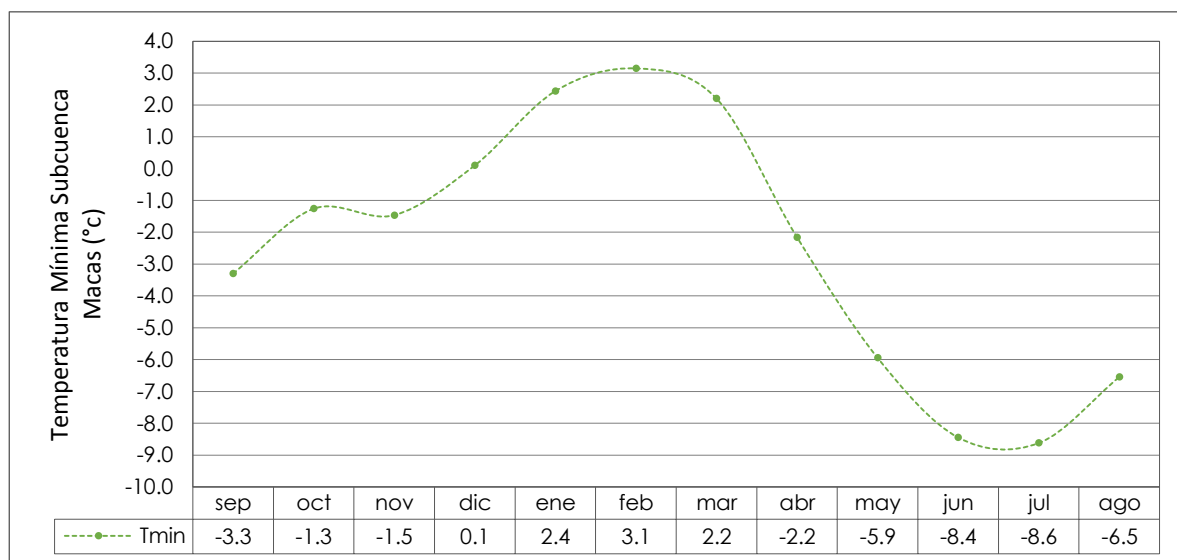
**Figura 6-35 Caracterización de la Temperatura Mínima en la Subcuenca Upamayo**

- **Temperatura Mínima Subcuenca Macas**

La temperatura mínima multianual alcanza los  $-2.5^{\circ}\text{C}$ , siendo el mes más cálido febrero con una temperatura de  $3.1^{\circ}\text{C}$  y el mes más frío es julio con una temperatura de  $-8.6^{\circ}\text{C}$ .

Espacialmente la temperatura mínima en esta subcuenca decrece con la altitud desde  $-5^{\circ}\text{C}$  hasta  $-0.9^{\circ}\text{C}$

En la Figura 6-36 se ilustra este comportamiento de la temperatura mínima para la subcuenca Macas.



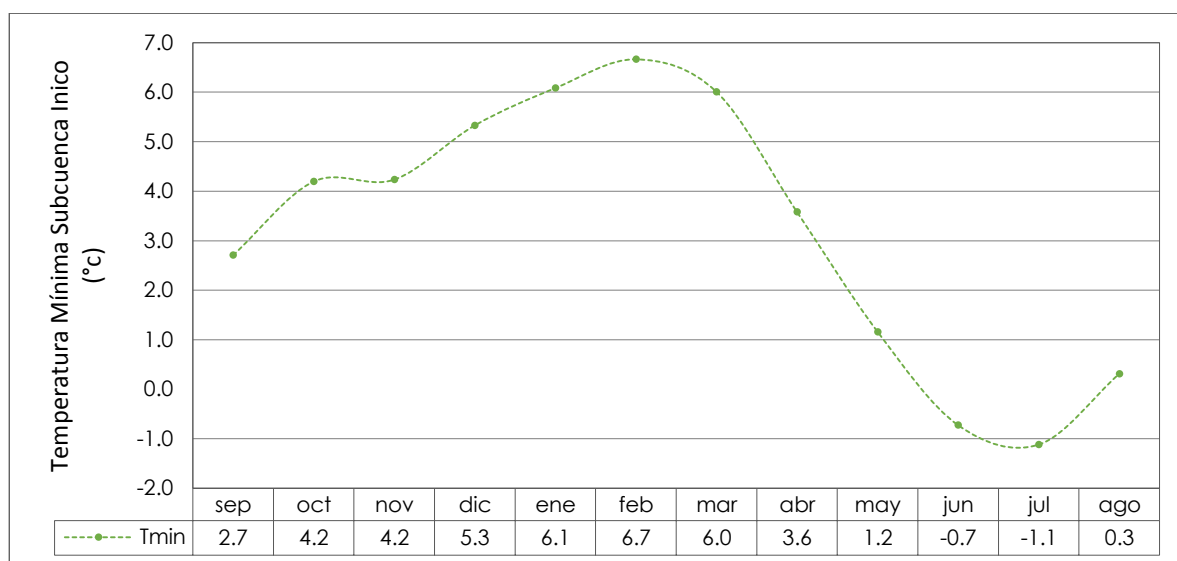
**Figura 6-36 Caracterización de la Temperatura Mínima en la Subcuenca Macas**

- **Temperatura Mínima Subcuenca Inico**

La temperatura mínima multianual alcanza los  $3.2^{\circ}\text{C}$ , siendo el mes más cálido febrero con una temperatura de  $6.7^{\circ}\text{C}$  y el mes más frío es julio con una temperatura de  $-1.1^{\circ}\text{C}$ .

Espacialmente la temperatura mínima en esta subcuenca decrece con la altitud desde  $-4^{\circ}\text{C}$  hasta  $-12^{\circ}\text{C}$

En la Figura 6-37 se ilustra este comportamiento de la temperatura mínima para la subcuenca Inico.



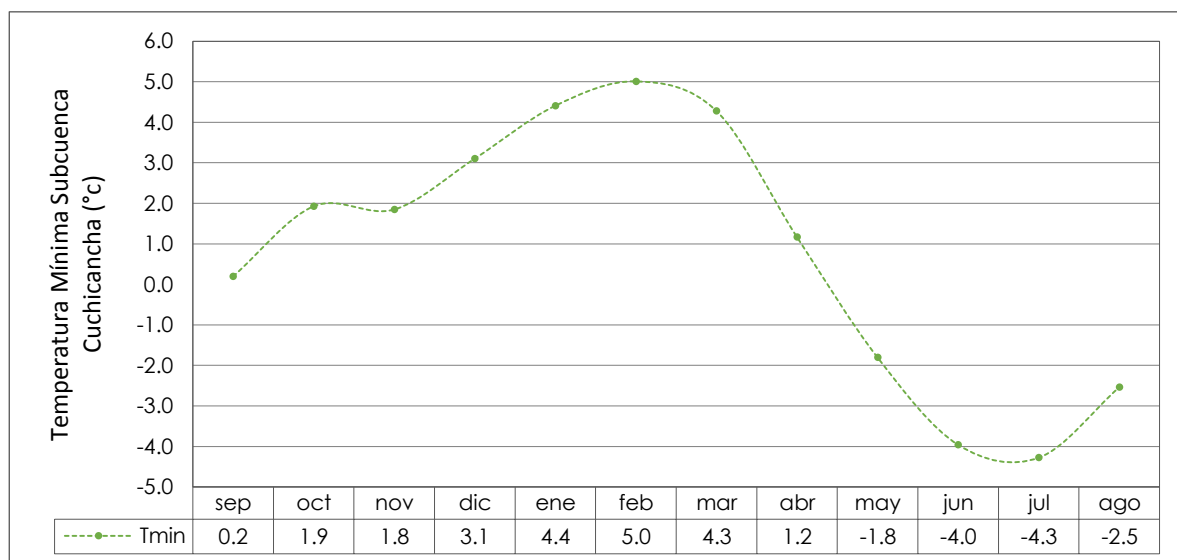
**Figura 6-37 Caracterización de la Temperatura Mínima en la Subcuenca Inico**

- **Temperatura Mínima Subcuenca Cuchicancha**

La temperatura mínima multianual alcanza los 0.8° C, siendo el mes más cálido febrero con una temperatura de 5°C y el mes más frío es julio con una temperatura de -4.3°C.

Espacialmente la temperatura mínima en esta subcuenca decrece con la altitud desde -5 °C hasta -0.9 °C

En la Figura 6-38 se ilustra este comportamiento de la temperatura mínima para la subcuenca Cuchicancha.



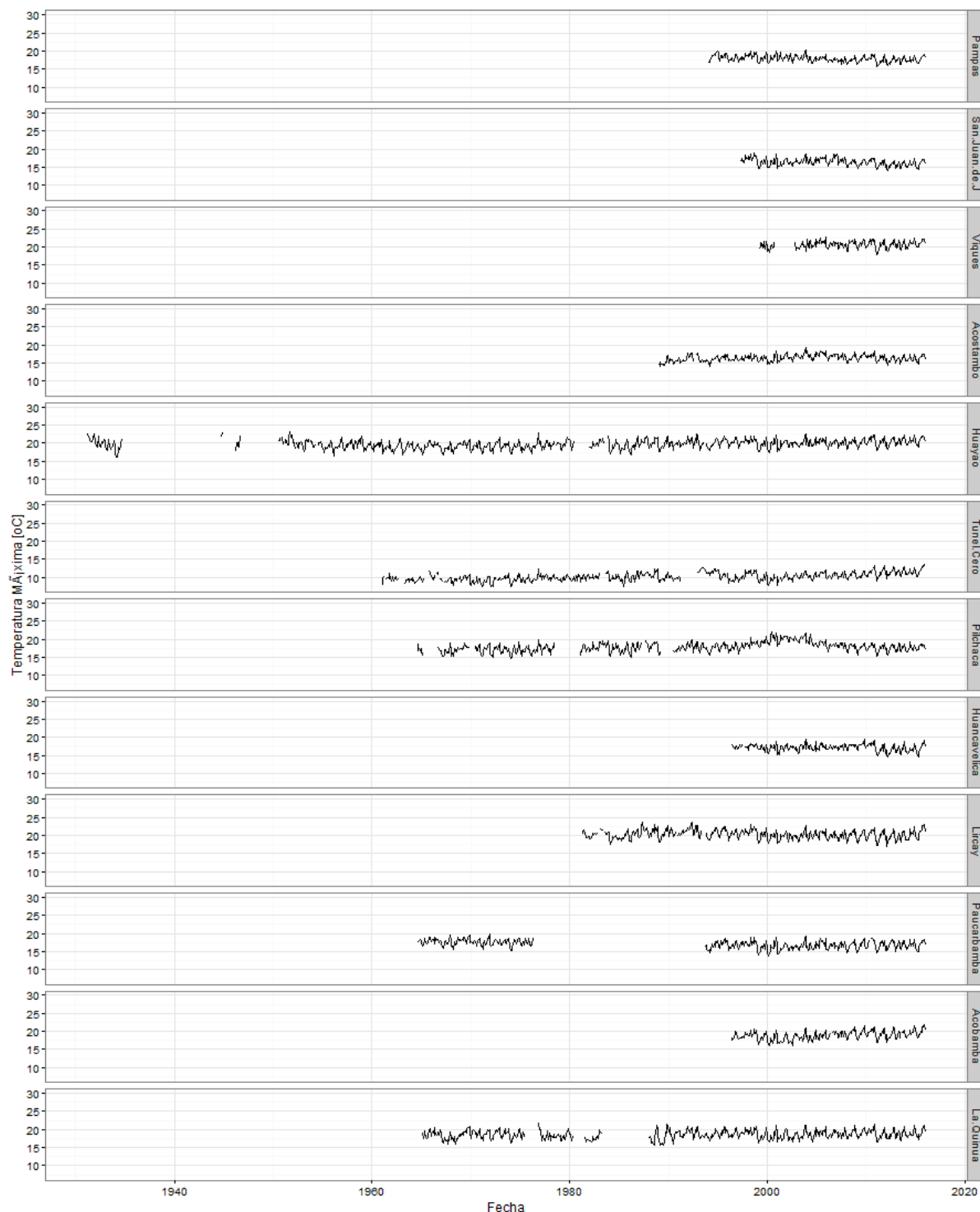
**Figura 6-38 Caracterización de la Temperatura Mínima en la Subcuenca Cuchicancha**

## 6.2.2 Análisis de la Temperatura máxima

### 6.2.2.1 Análisis exploratorio de datos de Temperatura máxima

La Figura 6-39 muestra la distribución temporal de la temperatura máxima en 12 estaciones que están ubicadas geográficamente en el entorno regional del distrito de Pampas. La longitud de registro de las estaciones es variable y predominante en el periodo 1995-2015.

**Figura 6-39 Distribución temporal de la Temperatura Máxima por estación en su periodo disponible**

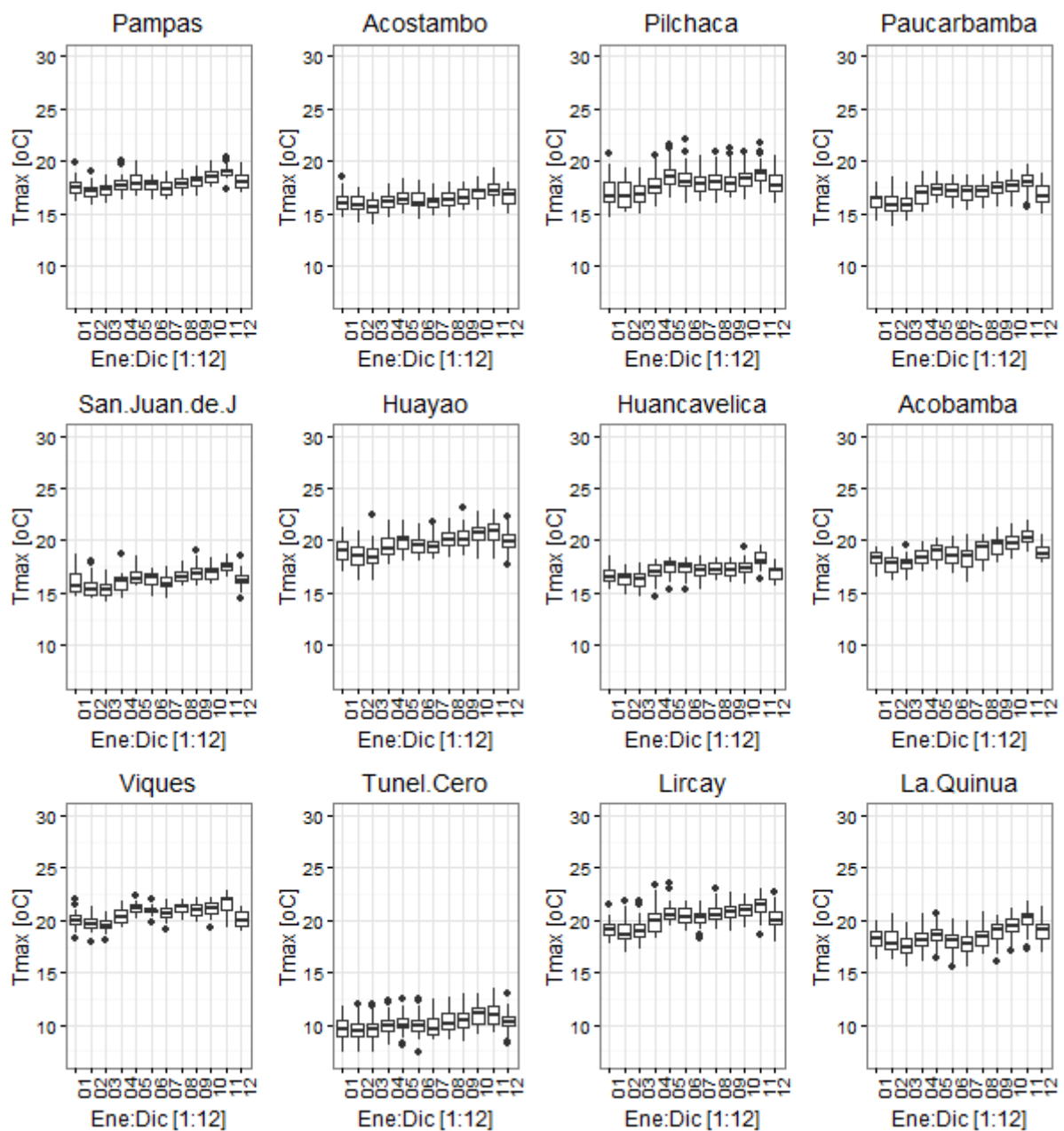


La Figura 6-40 muestra los diagramas de cajas de la temperatura máxima de escala mensual y por estación, en general se observa una variabilidad mensual menor



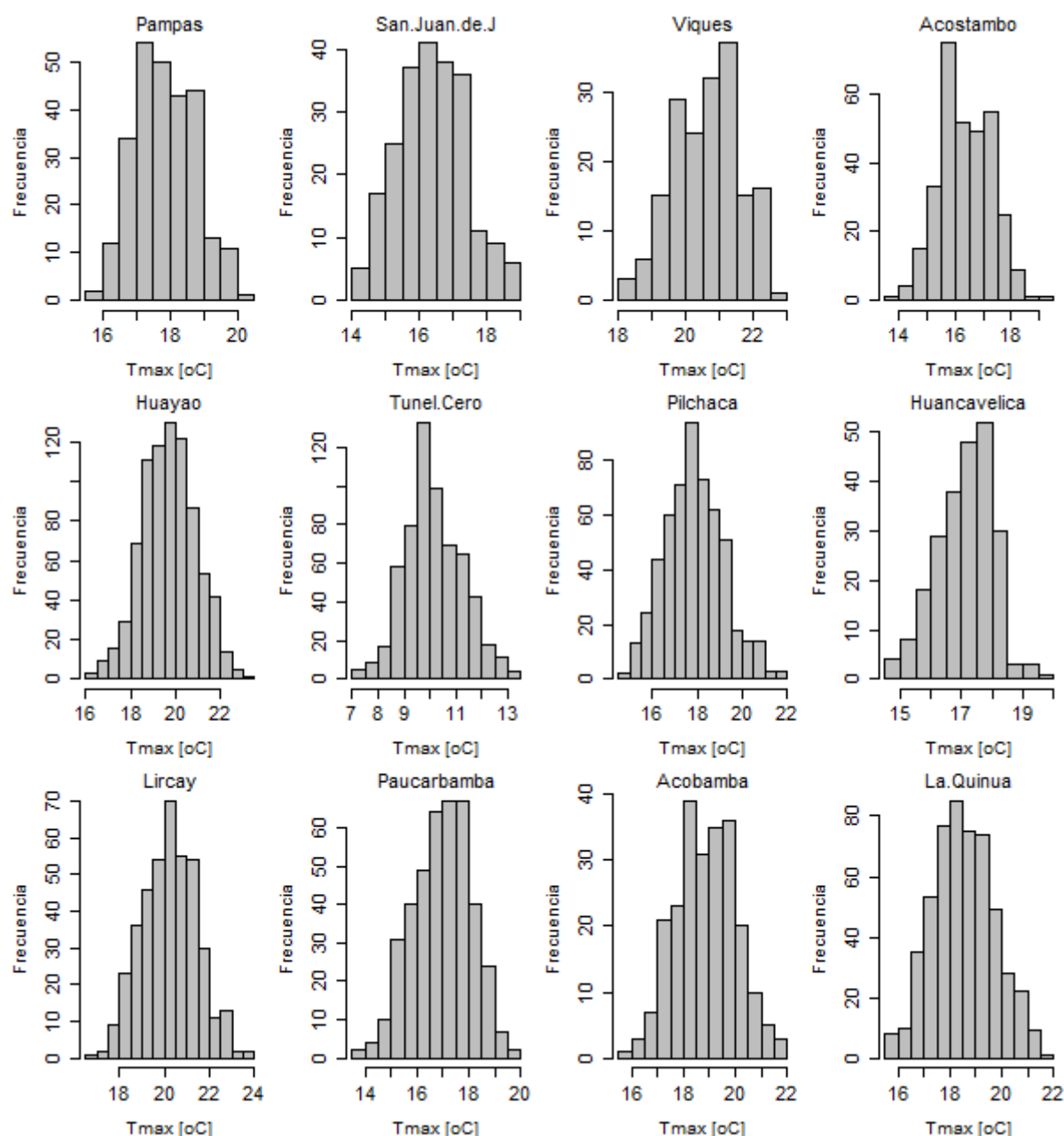
comparado con la temperatura mínima, también se observa datos atípicos que al ser comparados entre estaciones presentan semejanza por tanto se descarta la condición de datos dudoso.

**Figura 6-40 Diagrama de cajas mensual de la temperatura máxima por estación**



La Figura 6-41 presentan los histogramas de frecuencias de la temperatura máxima mensual por estaciones, ellos nos informan que el rango de la temperatura más frecuentes en el caso de la estación Huayao es de 19° C y 20° C; así mismo se observa que la amplitud de la temperatura en el límite inferior extremo se presenta en la estación Túnel cero de 7 a 13° C y en el límite superior extremo se presenta en la estación Lircay con un rango de variabilidad de 18 a 24° C.

En general se concluye que la distribución de ajuste probabilístico de esta variable no es Normal.

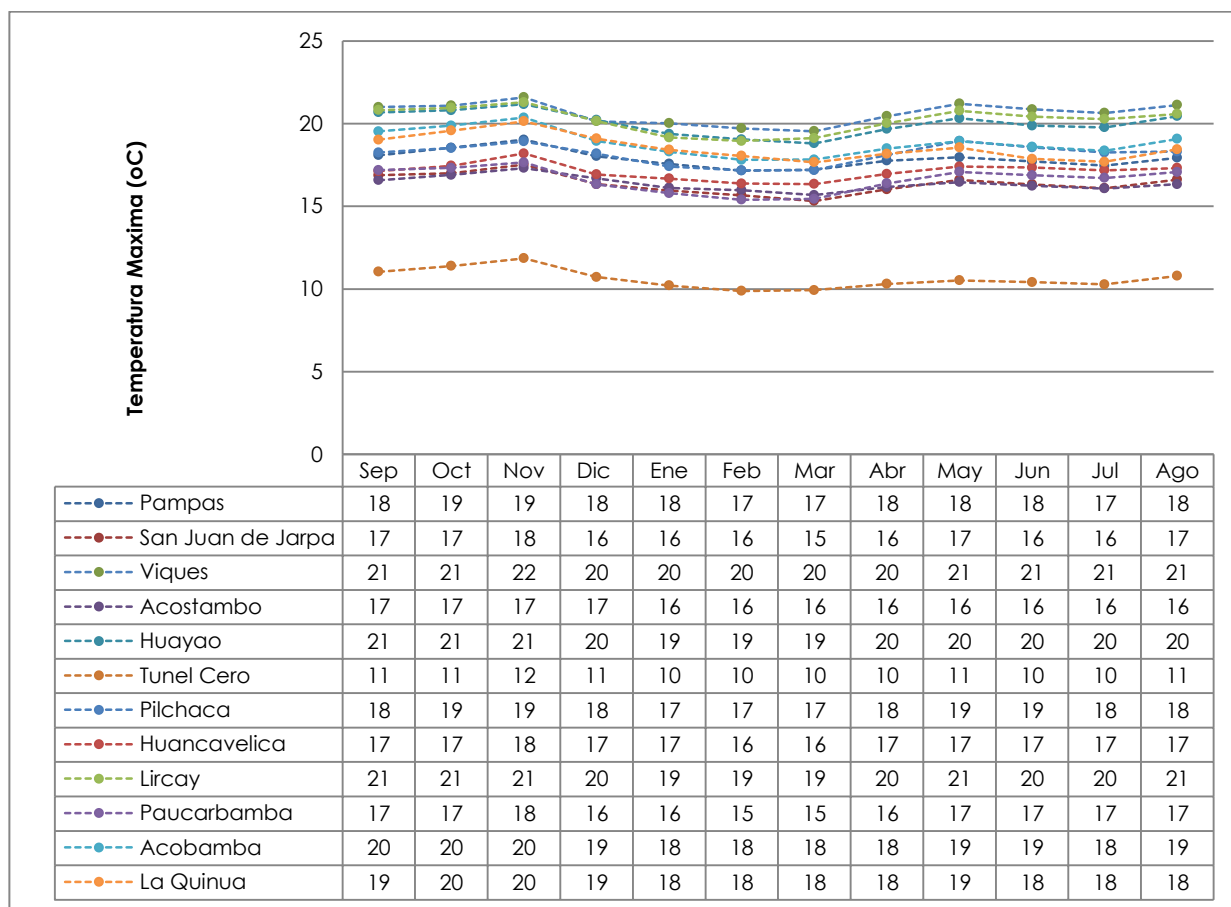
**Figura 6-41 Histograma de la Temperatura máxima mensual por estación**

### 6.2.2.2 Caracterización de la temperatura máxima por estación

Dado que la temperatura máxima es menos variable en el tiempo, no se ha completado la información faltante en el periodo de estudio, y se ha tomado los mismos criterios que para la temperatura mínima para la selección de estaciones, es así que el número total para la caracterizar temporal y espacialmente esta variable fueron 12.

La Figura 6-42 muestra la climatología térmica de las estaciones del entorno regional siendo Túnel Cero la que presenta módulos menores del grupo con una variación de 10 a 12° C y Viques la que presenta los módulos mayores del grupo y variación en el rango de 20 a 22° C.

La temperatura máxima anual en la estación Pampas, la más cercana al área de estudio, es de 17.9° C se caracteriza por presentar un comportamiento poco variable; es decir durante el año varía de 17 a 19° C.

**Figura 6-42 Temperatura Máxima media multimensual del periodo 1995-2015 por estación.**

### 6.2.2.3 Gradiente de la temperatura máxima

Las Figuras 6-43 y 6-44 muestran la relación de la temperatura máxima promedio multimensual y multianual representativa del periodo 1995 – 2015 versus elevación respectivamente.

Durante los doce meses del año se obtiene una buena relación con coeficientes de determinación mayores de 0.58.

A escala anual la relación que existe entre la temperatura máxima y la elevación es buena con coeficiente de determinación mayor a 0.62 por tanto la elevación es buena variable predictora ya que explica el 60% de la variabilidad.

Figura 6-43 Gradiente de la temperatura Máxima a escala mensual

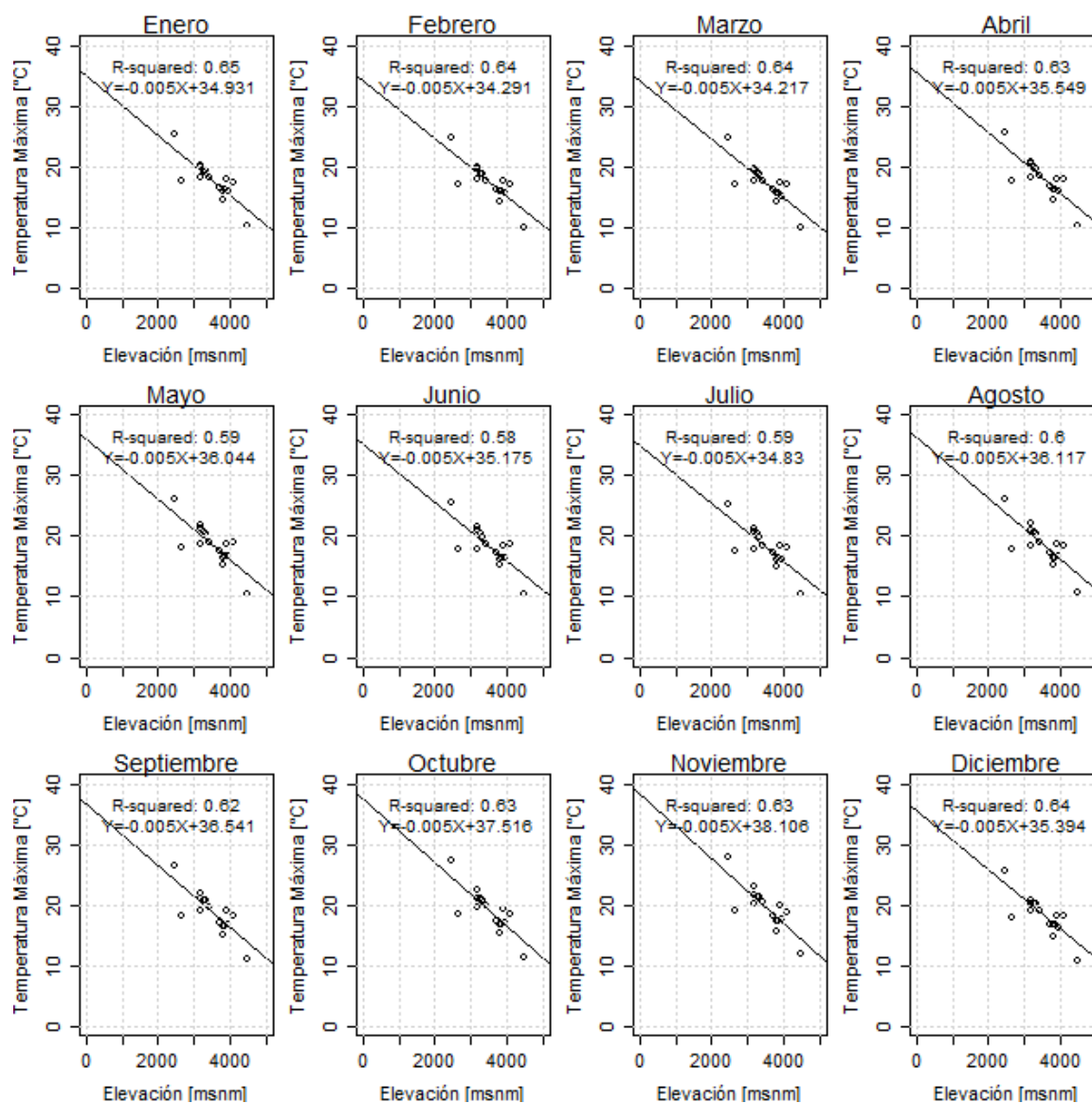
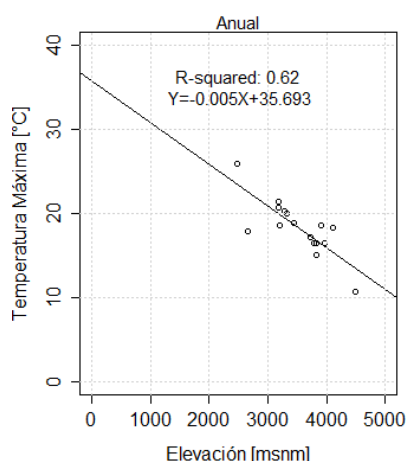


Figura 6-44 Gradiente de la temperatura Máxima a escala anual



#### 6.2.2.4 Coeficientes del modelo de regresión para la extrapolación de la temperatura máxima

En la Tabla 6-13 se muestra los coeficientes de la regresión múltiple generados para la estimación de la temperatura máxima a nivel mensual respectivamente. En la Tabla 6-14 muestran el índice de correlación del modelo lo cual explica el grado de asociación de las variables latitud, longitud, altitud y la temperatura máxima

**Tabla 6-13 Constantes de la regresión múltiple para la generación de mapas de Temperatura máxima**

MES	TEMPERATURA MAXIMA			
	A (LONGITUD)	B (LATITUD)	C (ALTURA)	D (COEFICIENTE)
Enero	-----	-0.00002	-0.0033	204.3
Febrero	-----	-0.00001	-0.0027	162.8
Marzo	-----	-0.00002	-0.0029	204.4
Abril	-----	-0.00002	-0.0034	237.2
Mayo	-----	-0.00003	-0.0036	292.9
Junio	-----	-0.00003	-0.0034	294.7
Julio	-----	-0.00003	-0.0034	311.6
Agosto	-----	-0.00003	-0.0039	300.0
Setiembre	-----	-0.00002	-0.0037	205.7
Octubre	-----	-0.00001	-0.0038	195.6
Noviembre	-----	-0.00002	-0.0037	246.2
Diciembre	-----	-0.00001	-0.0027	146.0

**Tabla 6-14 Coeficiente de determinación para el modelo de Temperatura Máxima**

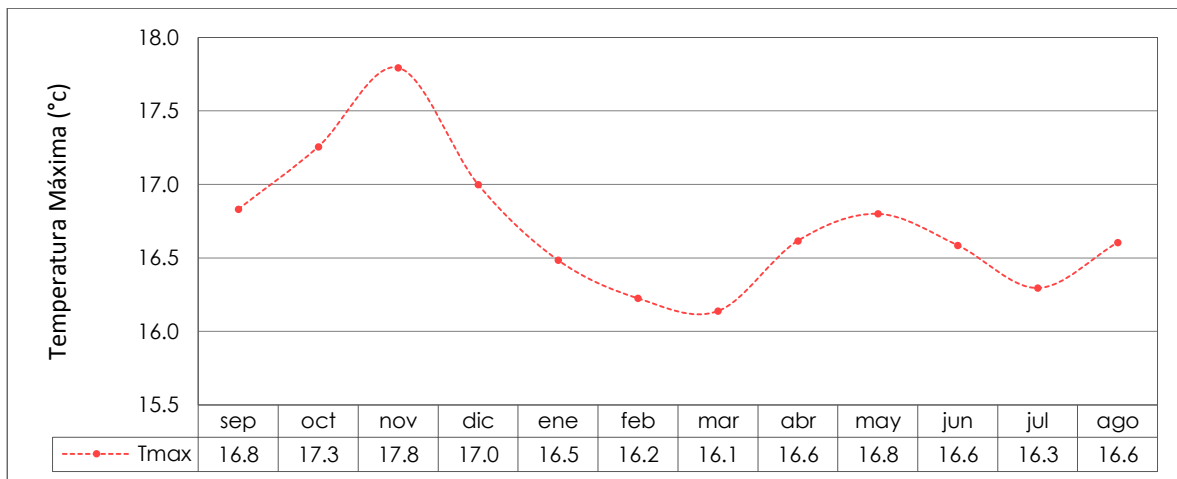
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	
MES	R <sup>2</sup>
Enero	0.80
Febrero	0.80
Marzo	0.80
Abril	0.76
Mayo	0.82
Junio	0.73
Julio	0.74
Agosto	0.79
Setiembre	0.76
Octubre	0.73
Noviembre	0.73
Diciembre	0.88

### 6.2.2.5 Caracterización de la Temperatura Máxima en el distrito de Pampas

La temperatura máxima multianual alcanza los 17° C, siendo el mes más cálido noviembre con una temperatura de 17.7°C y el mes más frío es marzo con una temperatura de 16.1°C.

Espacialmente la temperatura máxima en este distrito decrece con la altitud desde 14 °C hasta 20°C.

En la Figura 6-45 se ilustra este comportamiento de la temperatura máxima para el Distrito de Pampas representativa del periodo 1995-2015.



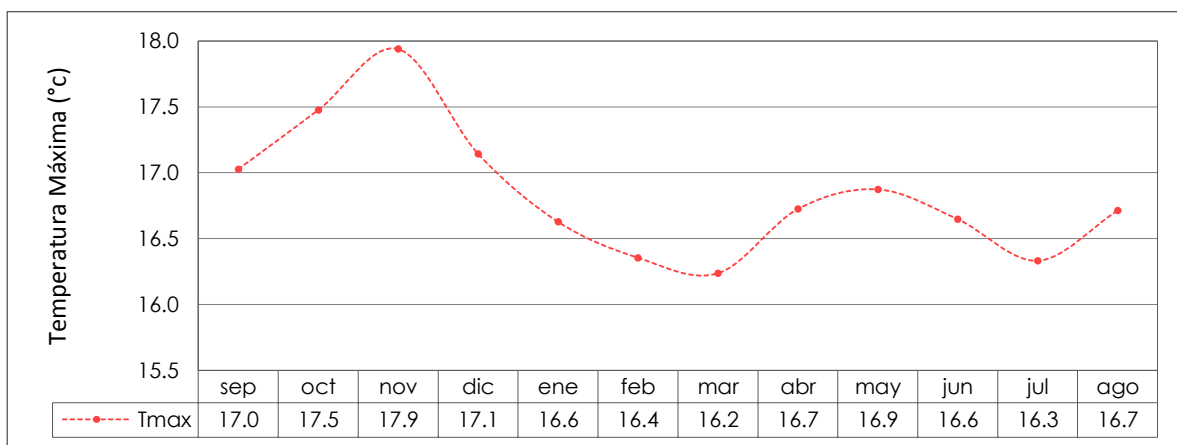
**Figura 6-45 Caracterización de la Temperatura Máxima en el distrito de Pampas**

### 6.2.2.6 Caracterización de la Temperatura Máxima en el distrito de Santiago de Tucuma

La temperatura máxima multianual alcanza los 17° C, siendo el mes más cálido noviembre con una temperatura de 18°C y el mes más frío es marzo con una temperatura de 16.2°C.

Espacialmente la temperatura máxima en este Distrito decrece con la altitud desde 13 °C hasta 22 °C.

En la Figura 6-46 se ilustra este comportamiento de la temperatura máxima para el Distrito de Santiago de Tucuma representativa del periodo 1995-2015.



**Figura 6-46 Caracterización de la Temperatura Máxima en el distrito de Santiago de Tucuma**

En el *ANEXO-MAPAS-Mapa N° TMAX-01 al N° TMAX-13* se presenta los mapas de temperatura máxima a escala temporal mensual y anual y escala espacial de distrito.

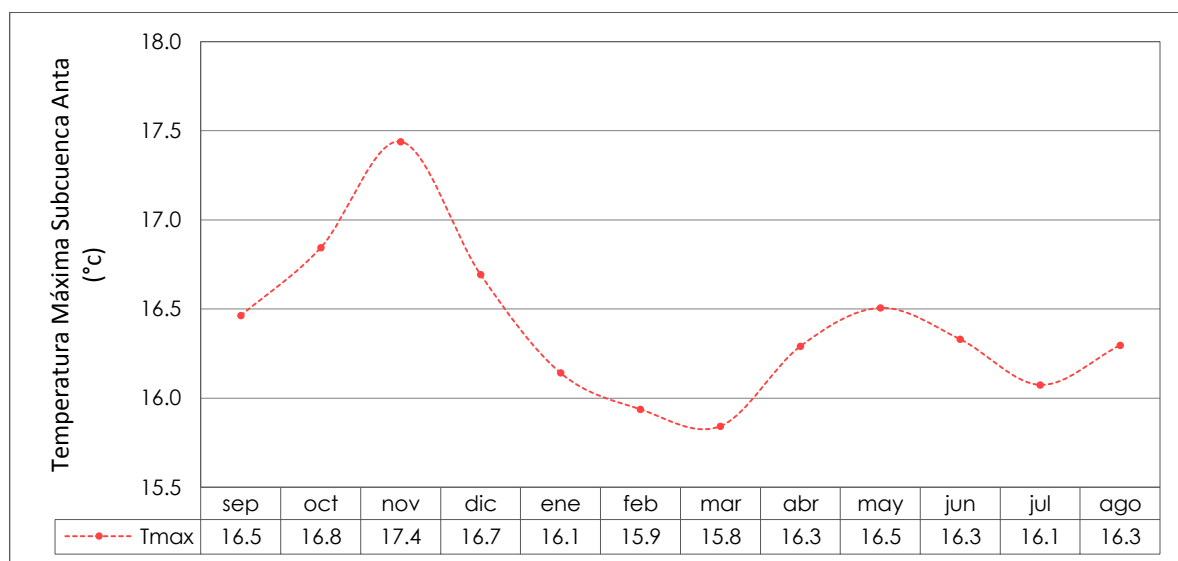
### 6.2.2.7 Caracterización de la Temperatura Máxima por subcuenca

- **Temperatura Máxima en la Subcuenca Anta**

La temperatura máxima multianual alcanza los 16.4° C, siendo el mes más cálido noviembre con una temperatura de 17.4°C y el mes más frío es marzo con una temperatura de 15.8°C.

Especialmente la temperatura máxima en esta subcuenca decrece con la altitud desde 14°C hasta -20 °C.

En la Figura 6-47 se ilustra este comportamiento de la temperatura máxima en la subcuenca Anta.



**Figura 6-47 Caracterización de la Temperatura Máxima en la Subcuenca Anta**

- **Temperatura Máxima en la Subcuenca Corinto**

La temperatura máxima multianual alcanza los 16.8° C, siendo el mes más cálido noviembre con una temperatura de 17.9°C y el mes más frío es febrero y marzo con una temperatura de 16.2°C.

Especialmente la temperatura máxima en esta subcuenca decrece con la altitud desde 14 °C hasta 20 °C.

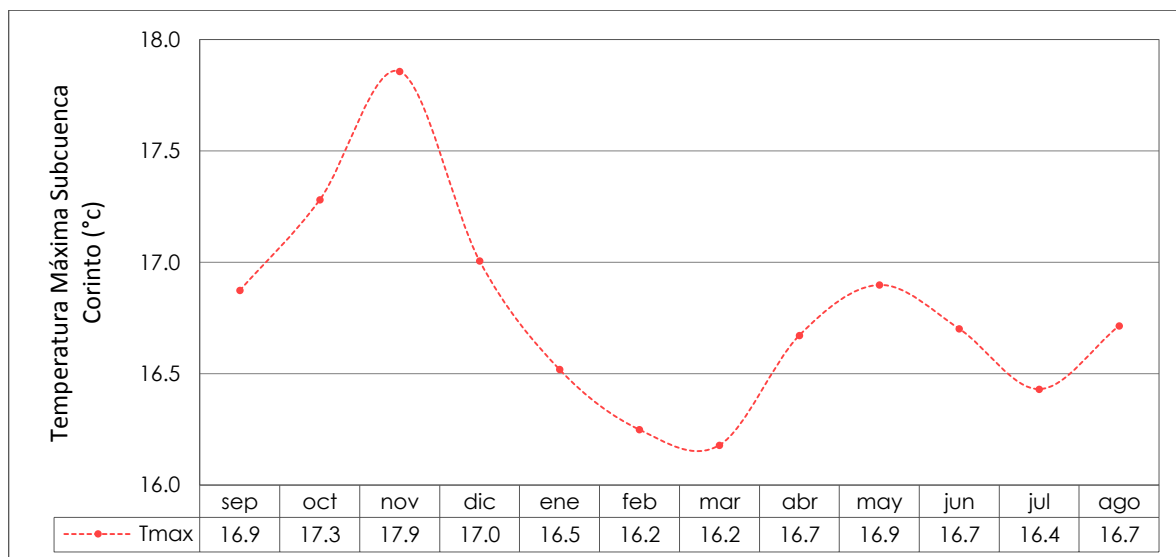
En la Figura 6-48 se ilustra este comportamiento de la temperatura máxima en la subcuenca Corinto.

- **Temperatura Máxima en la Subcuenca Samerino**

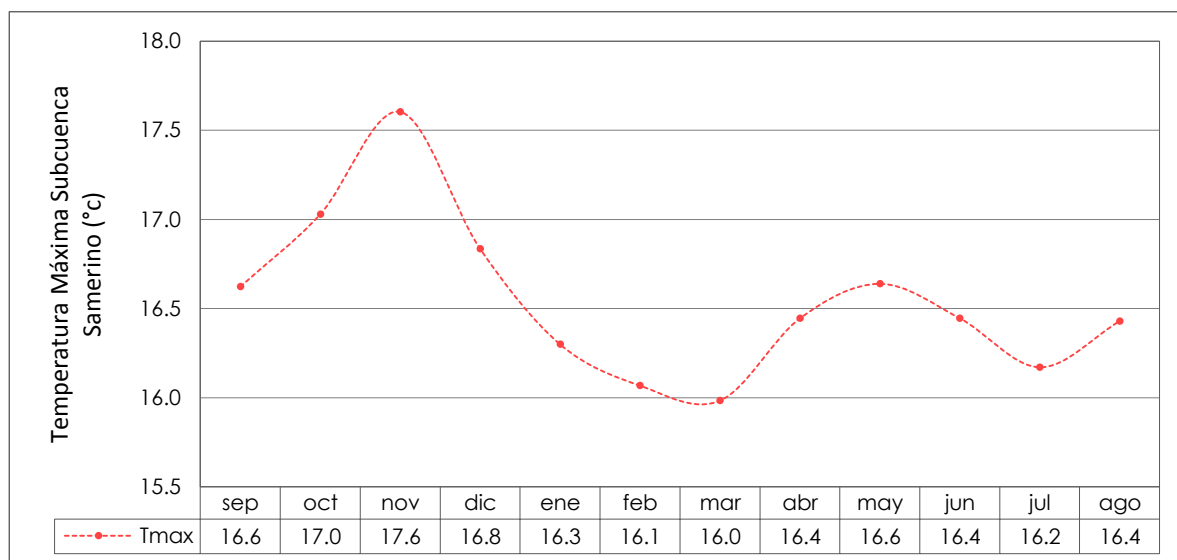
La temperatura máxima multianual alcanza los 16.5° C, siendo el mes más cálido noviembre con una temperatura de 17.6°C y el mes más frío es marzo con una temperatura de 16°C.

Especialmente la temperatura máxima en esta subcuenca decrece con la altitud desde 14 °C hasta 20 °C.

En la Figura 6-49 se ilustra este comportamiento de la temperatura máxima en la subcuenca Samerino.



**Figura 6-48 Caracterización de la Temperatura Máxima en la Subcuenca Corinto**



**Figura 6-49 Caracterización de la Temperatura Máxima en la Subcuenca Samerino**

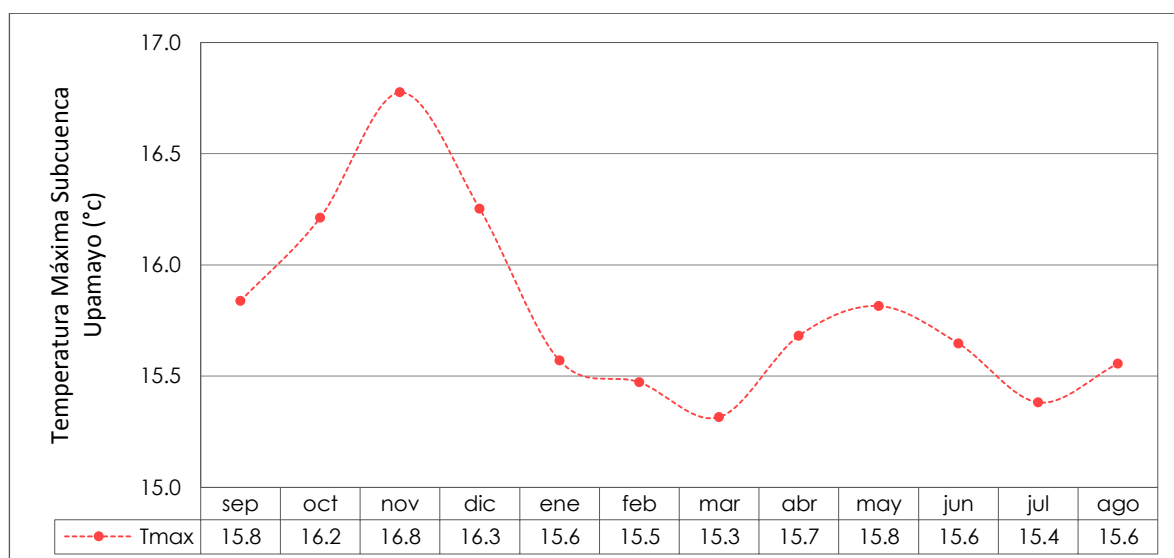
- **Temperatura Máxima en la Subcuenca Upamayo**

La temperatura máxima multianual alcanza los 15.8° C, siendo el mes más cálido noviembre con una temperatura de 16.8°C y el mes más frío es marzo con una temperatura de 15.3°C.

Especialmente la temperatura máxima en esta subcuenca decrece con la altitud desde 14 °C hasta 18 °C.

En la Figura 6-50 se ilustra este comportamiento de la temperatura máxima en la subcuenca Upamayo.





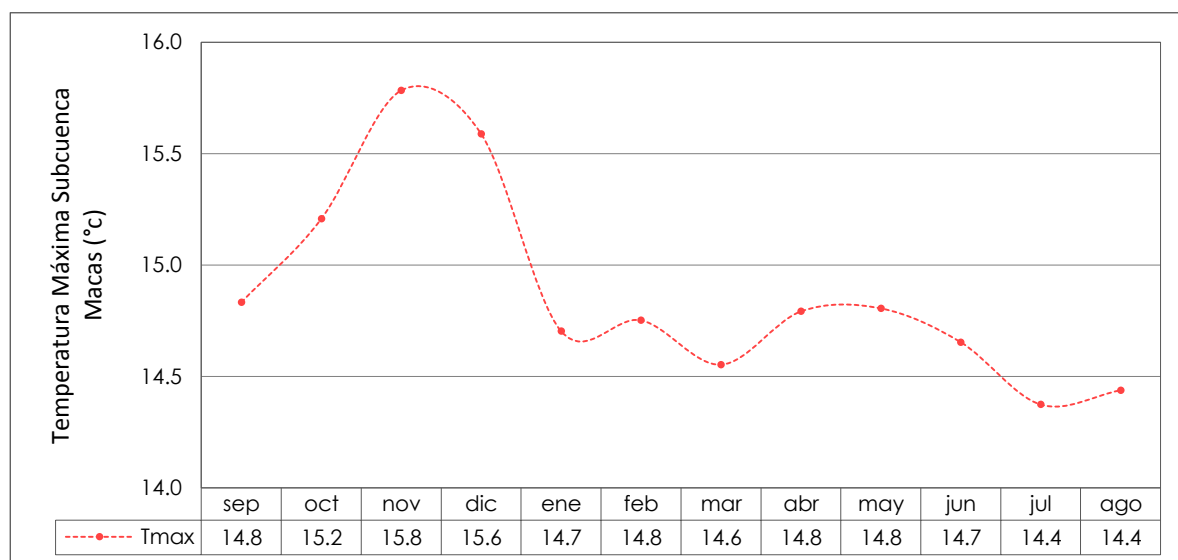
**Figura 6-50 Caracterización de la Temperatura Máxima en la Subcuenca Upamayo**

- **Temperatura Máxima en la Subcuenca Macas**

La temperatura máxima multianual alcanza los 14.9° C, siendo el mes más cálido noviembre con una temperatura de 15.8°C y el mes más frío es julio y agosto con una temperatura de 14.4°C.

Especialmente la temperatura máxima en esta subcuenca decrece con la altitud desde 14 °C hasta 16 °C.

En la Figura 6-51 se ilustra este comportamiento de la temperatura máxima en la subcuenca Macas.



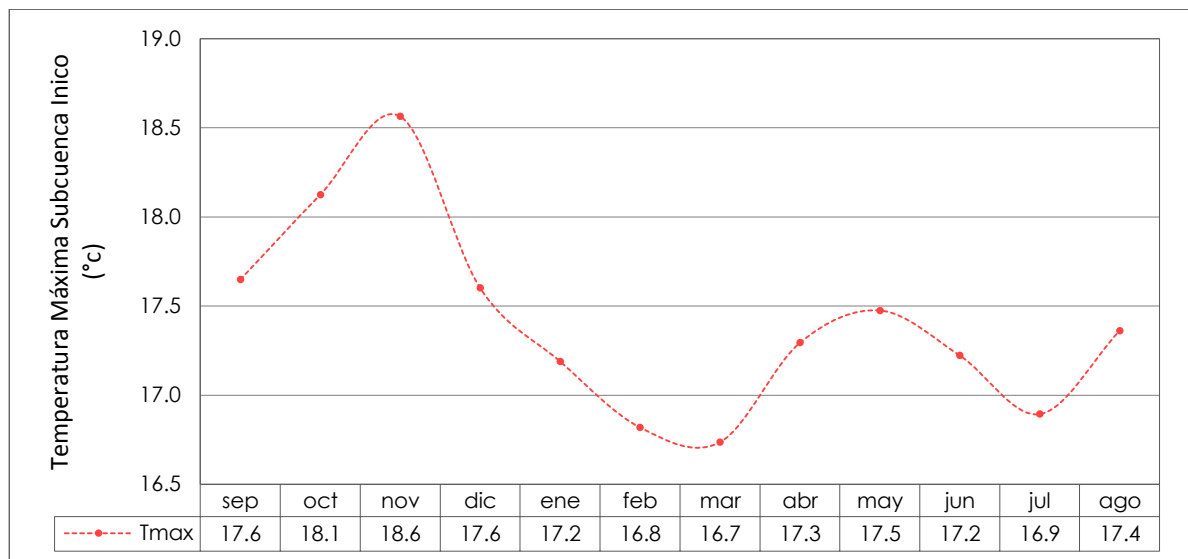
**Figura 6-51 Caracterización de la Temperatura Máxima en la Subcuenca Macas**

- **Temperatura Máxima en la Subcuenca Inico**

La temperatura máxima multianual alcanza los 17.4° C, siendo el mes más cálido noviembre con una temperatura de 18.6°C y el mes más frío es marzo con una temperatura de 16.7°C.

Especialmente la temperatura máxima en esta subcuenca decrece con la altitud desde 14 °C hasta 22 °C.

En la Figura 6-52 se ilustra este comportamiento de la temperatura máxima en la subcuenca Inico.



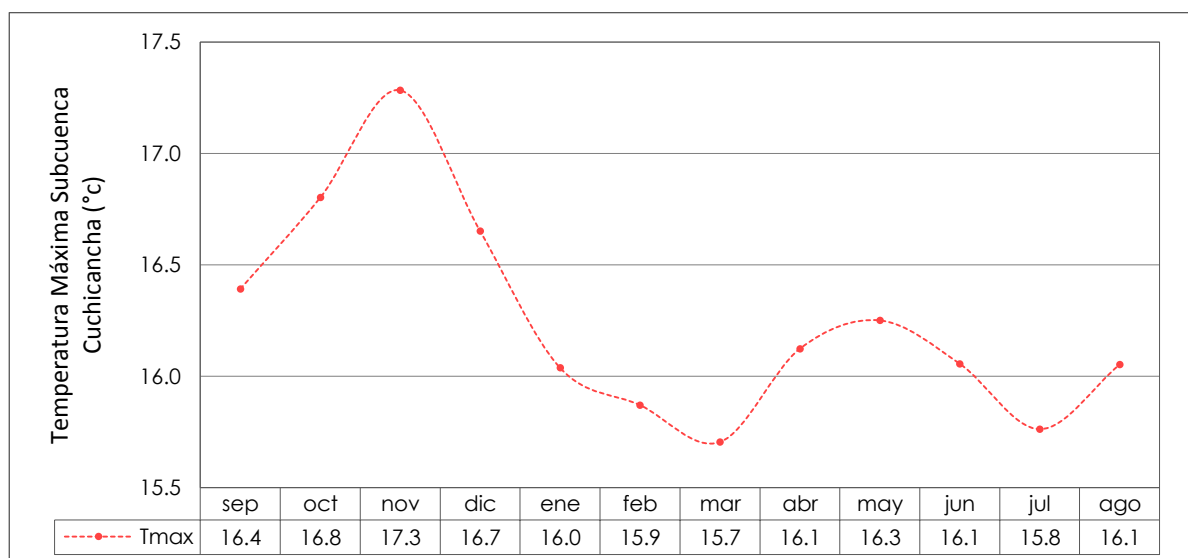
**Figura 6-52 Caracterización de la Temperatura Máxima en la Subcuenca Inico**

- **Temperatura Máxima en la Subcuenca Cuchicancha**

La temperatura máxima multianual alcanza los 16.2° C, siendo el mes más cálido noviembre con una temperatura de 17.3°C y el mes más frío es marzo con una temperatura de 15.7°C.

Especialmente la temperatura máxima en esta subcuenca decrece con la altitud desde 14 °C hasta 21 °C.

En la Figura 6-53 se ilustra este comportamiento de la temperatura máxima en la subcuenca Cuchicancha.



**Figura 6-53 Caracterización de la Temperatura Máxima en la Subcuenca Cuchicancha**

### 6.3 Análisis de la evapotranspiración del cultivo de referencia

#### 6.3.1 Marco conceptual de la evapotranspiración

La evapotranspiración (ET<sub>o</sub>), se define como la cantidad de agua que regresa a la atmosfera por evapotranspiración directa del agua en el suelo, de aguas estancadas y por la transpiración de las plantas.

La evapotranspiración no es simple de medir. Para determinarla experimentalmente se requieren aparatos específicos y mediciones precisas de varios parámetros físicos o el balance del agua del suelo en lisímetros. Debido a la dificultad de obtener mediciones de campo precisas, la evapotranspiración se calcula comúnmente con datos meteorológicos. Una gran cantidad de ecuaciones empíricas o semi-empíricas se han desarrollado para determinar la evapotranspiración del cultivo o de referencia utilizando datos meteorológicos. Algunos de los métodos son solamente válidos para condiciones climáticas y agronómicas específicas y no se pueden aplicar bajo condiciones diferentes de las que fueron desarrolladas originalmente. Numerosos investigadores han analizado el funcionamiento de los varios métodos del cálculo para diversas localidades. Como resultado de una Consulta de expertos llevada a cabo en mayo de 1990, el método FAO Penman-Monteith se recomienda actualmente como el método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiration de referencia, ET<sub>o</sub>.

Lavado W., 25 Comparo diez modelos de evapotranspiración empírico simples y el valor estándar FAO-56 Penman Monteith, basados en datos de ocho estaciones localizadas en la región CAP (Cuenca Andino-Amazónica Peruana), el cual concluye que el modelo Hargreaves Samani proporciona estimaciones aceptables con datos de entrada limitados.

Es así, que para el presente estudio sea estimado la ET<sub>o</sub> según lo propuesto por Harvegreaves – Samani, 1985 presenta la expresión general:

$$ET_o = 0.0135 * (T_m + 17.8) * R_s$$

La radiación solar incidente, R<sub>s</sub>, se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre, R<sub>o</sub> (la que llega a la parte exterior de la atmosfera, que sería la que llegaría al suelo si no existiera atmosfera) esta última aparece según los autores como R<sub>o</sub> ó R<sub>a</sub>, y la leemos en tablas en función de la latitud del lugar y del mes. En este documento nos referimos a ella como R<sub>o</sub>. Para la obtención de la radiación solar incidente, R<sub>s</sub> Samani (2000) propone la siguiente formula:

$$R_s = R_o * k_t * (T_{max} - T_{min})^{0.5}$$

Donde:

R<sub>s</sub> : Radiación solar incidente en mm/día

R<sub>o</sub> : Radiación solar extraterrestre se obtiene de tablas en función de la latitud del lugar y del mes

K<sub>t</sub> : Coeficiente empírico

Puesto que los valores de R<sub>o</sub> están tabulados y las temperaturas máximas y mínimas son datos empíricos relativamente fáciles de obtener, la dificultad para aplicar la ecuación anterior es la estimación del coeficiente de k<sub>t</sub>, el cual se calcula a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves (citado en Samani, 2000) recomienda k<sub>t</sub>=0.162 para regiones del interior y k<sub>t</sub>=0.19 para regiones costeras.

Por tanto tomando para el coeficiente  $k_t$  el valor medio de 0.17, luego el coeficiente  $0.35 \cdot k_t$  es reemplazado por 0.0023 y resulta la expresión siguiente:

En general el valor de la Radiación Solar Extraterrestre ( $R_o$ ) está en MJ/m<sup>2</sup>/día, para pasar a mm/día (de agua evaporada) multiplicar por 0.4082.

$$ET_o = 0.0023 * (T_m + 17.8) * (T_{max} - T_{min})^{0.5} * R_o$$

Donde:

- ET<sub>o</sub> : Evapotranspiración en mm /día  
 T<sub>m</sub> : Temperatura media en °C  
 T<sub>máx</sub> : Temperatura máxima en °C  
 T<sub>mín</sub> : Temperatura mínima en °C  
 R<sub>o</sub> : Radiación extraterrestre en mm/día (tabulada)

La Tabla 6-15 muestra los valores de radiación solar extraterrestre respecto a la latitud de ubicación, para América del Sur.

**Tabla 6-15 Radiación solar extraterrestre en MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Allen et al., 1998).**

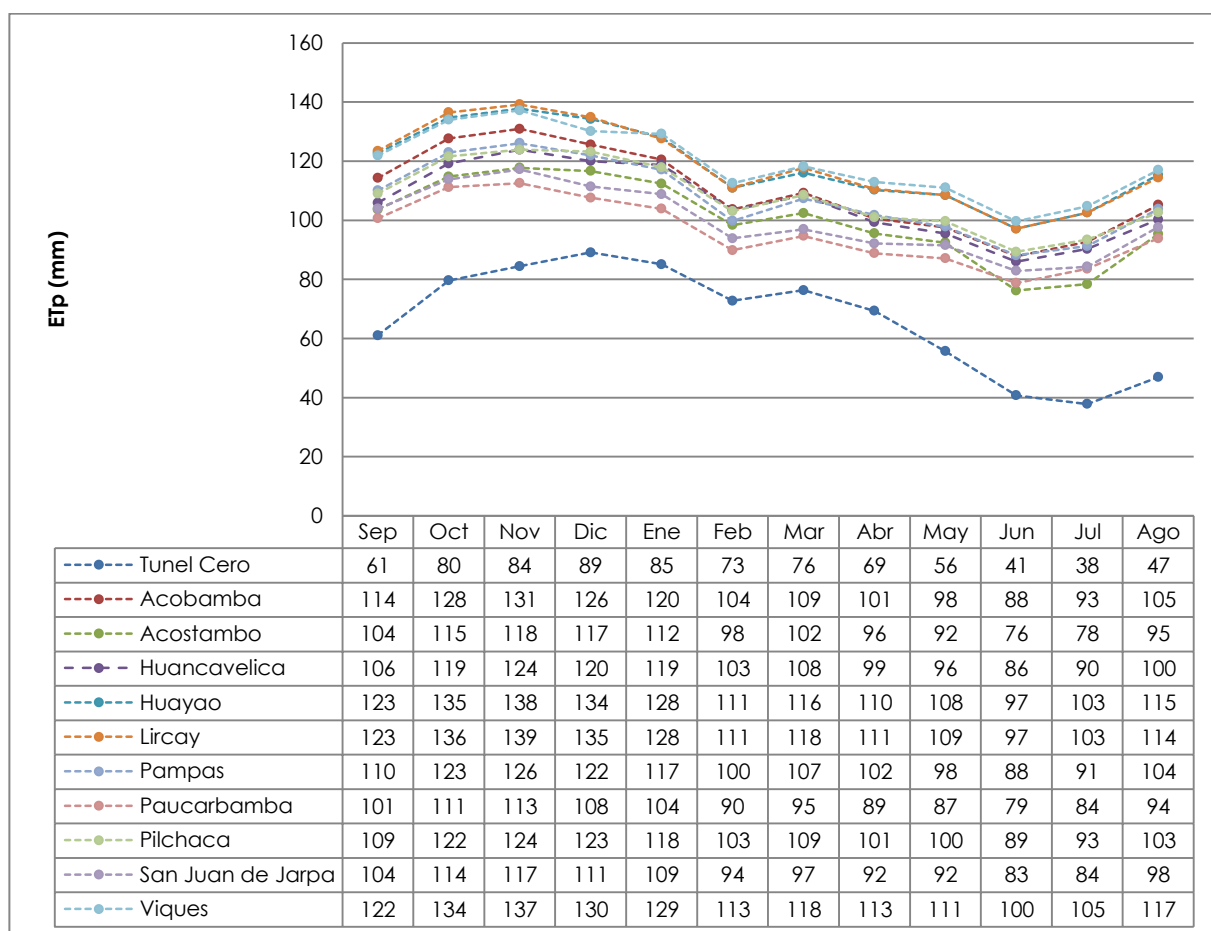
Lat (°)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2	35.4	37.0	37.8	37.1	35.4	34.2	34.6	36.1	37.3	37.0	35.6	34.8
0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6
-2	36.9	37.9	38.0	36.4	34.1	32.6	33.1	35.2	37.1	37.7	37.0	36.4
-4	37.6	38.3	38.0	36.0	33.4	31.8	32.3	34.6	37.0	38.0	37.6	37.2
-6	38.3	38.7	38.0	35.6	32.7	30.9	31.5	34.0	36.8	38.2	38.2	38.0
-8	38.9	39.0	37.9	35.1	31.9	30.0	30.7	33.4	36.6	38.4	38.8	38.7
-10	39.5	39.3	37.8	34.6	31.1	29.1	29.8	32.8	36.3	38.5	39.3	39.4
-12	40.1	39.6	37.7	34.0	30.2	28.1	28.9	32.1	36.0	38.6	39.8	40.0
-14	40.6	39.7	37.5	33.4	29.4	27.2	27.9	31.3	35.6	38.7	40.2	40.6
-16	41.1	39.9	37.2	32.8	28.5	26.2	27.0	30.6	35.2	38.7	40.6	41.2
-18	41.5	40.0	37.0	32.1	27.5	25.1	26.0	29.8	34.7	38.7	40.9	41.7
-20	41.9	40.0	36.6	31.3	26.6	24.1	25.0	28.9	34.2	38.6	41.2	42.1

Obtenido el mapa de temperatura mínima y máxima así como radiación solar incidente se ha obtenido los mapas de ETP mediante álgebra de mapas.

### 6.3.2 Climatología de la evapotranspiración potencial por estación

La Figura 6-54 muestra la climatología térmica de las estaciones del entorno regional siendo Túnel Cero la que presenta módulos menores del grupo módulo anual de 799 mm y Viques la que presenta los módulos mayores del grupo con un módulo anual de 1429 mm.

La Evapotranspiración potencial anual en la estación Pampas, la más cercana al área de estudio, es de 1288 mm por año, se caracteriza por presentar un comportamiento poco variable; es decir durante los doce meses del año varía de 88 a 126 mm/mes correspondiente a 3 y 4 mm/día.

**Figura 6-54 Evapotranspiración media multimensual del periodo 1995-2015 por estación.**

### 6.3.3 Climatología de la evapotranspiración potencial en el distrito Pampas

Con respecto a la climatología de la ETP en el distrito de Pampas, se ha estimado 1220 mm por año, con valores máximos que se presentan en el mes de noviembre con un valor acumulado de 119 mm/mes, lo cual representa una tasa de 4 mm/día. En el mes de junio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 83 mm/mes, que equivale a una tasa de 2.8 mm/día.

Espacialmente se ha determinado que la ETP presenta una variabilidad comprendida en el rango de 572 mm a 1421 mm.

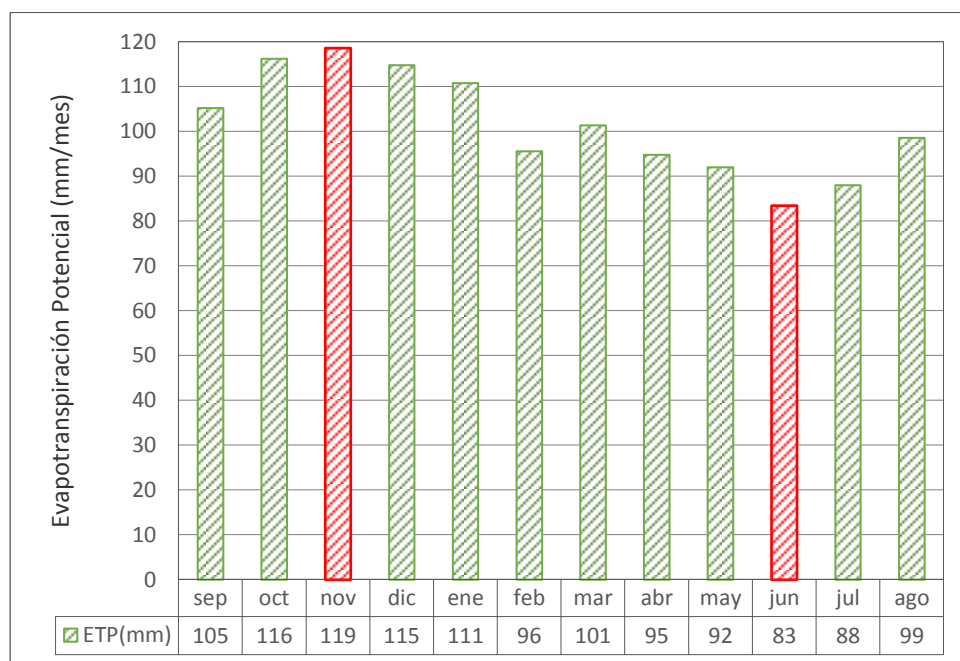
En la figura 6-55 se puede apreciar el ciclo anual la ETP en el distrito de Pampas.

### 6.3.4 Climatología de la evapotranspiración potencial en el distrito Santiago de Tucuma

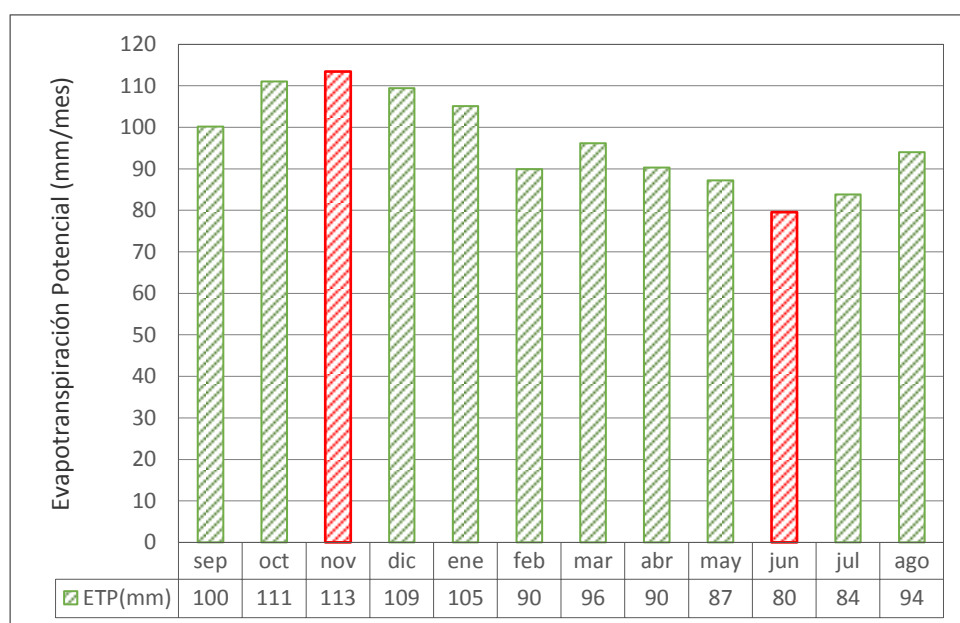
Con respecto a la climatología de la ETP en el distrito de Santiago de Tucuma, se ha estimado 1159 mm por año, con valores máximos que se presentan en el mes de noviembre con un valor acumulado de 113 mm/mes, lo cual representa una tasa de 3.8 mm/día. En el mes de junio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 80 mm/mes, que equivale a una tasa de 2.7 mm/día.

Espacialmente se ha determinado que la ETP presenta una variabilidad comprendida en el rango de 1009 mm a 1407 mm.

En la figura 6-56 se puede apreciar el ciclo anual la ETP en el distrito de Santiago de Tucuma.



**Figura 6-55 Caracterización de la Evapotranspiración en el distrito de Pampas**



**Figura 6-56 Caracterización de la Evapotranspiración en el distrito de Santiago de Tucuma**

En el *ANEXO-MAPAS-Mapa N° ETP-01 al N° ETP-13* se presenta los mapas de Evapotranspiración a escala temporal mensual y anual; y escala espacial de distrito.

### 6.3.5 Climatología de la evapotranspiración potencial por subcuenca

#### 6.3.5.1 Evapotranspiración en la Subcuenca Anta

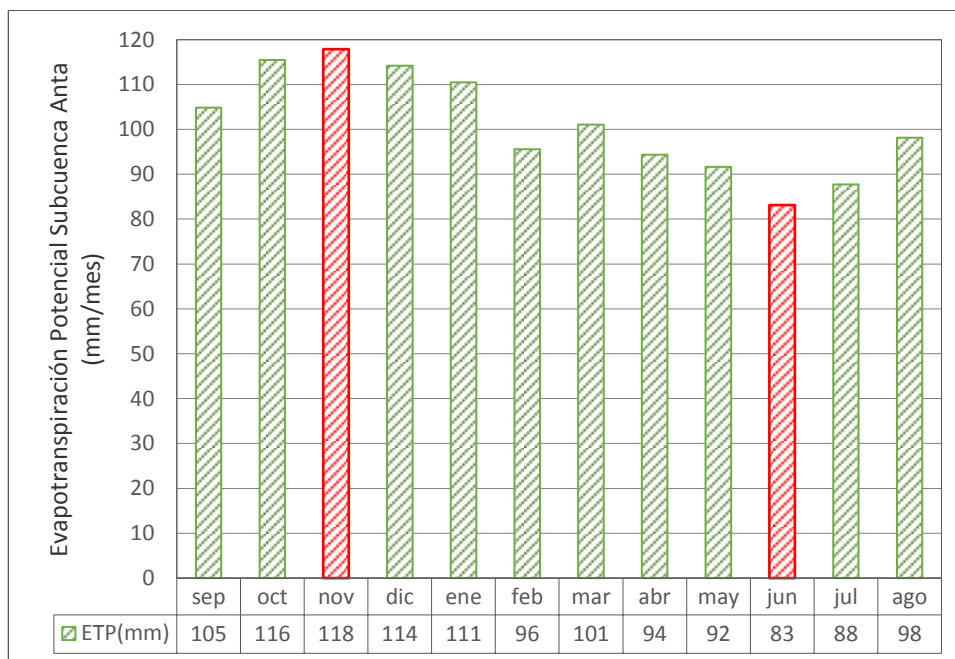
Con respecto a la climatología de la ETP en la subcuenca Anta, se ha determinado que anualmente presenta en promedio 1216 mm, sus valores máximos se presentan en el mes

de noviembre con un valor acumulado de 118 mm/mes, lo cual representa una tasa de 3.9 mm/día.

En el mes de junio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 83.0 mm/mes, que equivale a una tasa de 2.8 mm/día.

Espacialmente se ha determinado que la ETP presenta una variabilidad comprendida en el rango de 1099.0 mm a 1411.0 mm.

En la figura 6-57 se puede apreciar el ciclo anual la ETP de la subcuenca Anta.



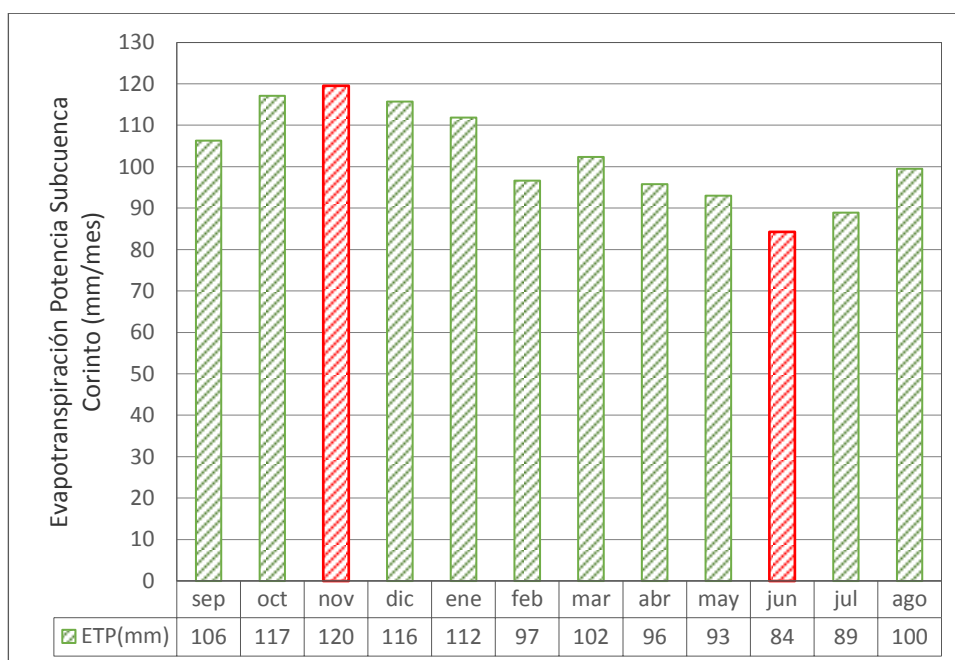
**Figura 6-57 Caracterización de la Evapotranspiración en la Subcuenca Anta**

#### 6.3.5.2 Evapotranspiración en la Subcuenca Corinto

Con respecto a la climatología de la ETP en la subcuenca Corinto, se ha determinado que anualmente presenta en promedio 1232 mm; sus valores máximos se presentan en el mes de noviembre con un valor acumulado de 120 mm/mes, lo cual representa una tasa de 4.0 mm/día. En el mes de junio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 84 mm/mes, que equivale a una tasa de 2.8 mm/día.

Espacialmente se ha determinado que la ETP presenta una variabilidad comprendida en el rango de 1098 mm a 1407 mm.

En la figura 6-58 se puede apreciar el ciclo anual la ETP de la subcuenca Corinto.



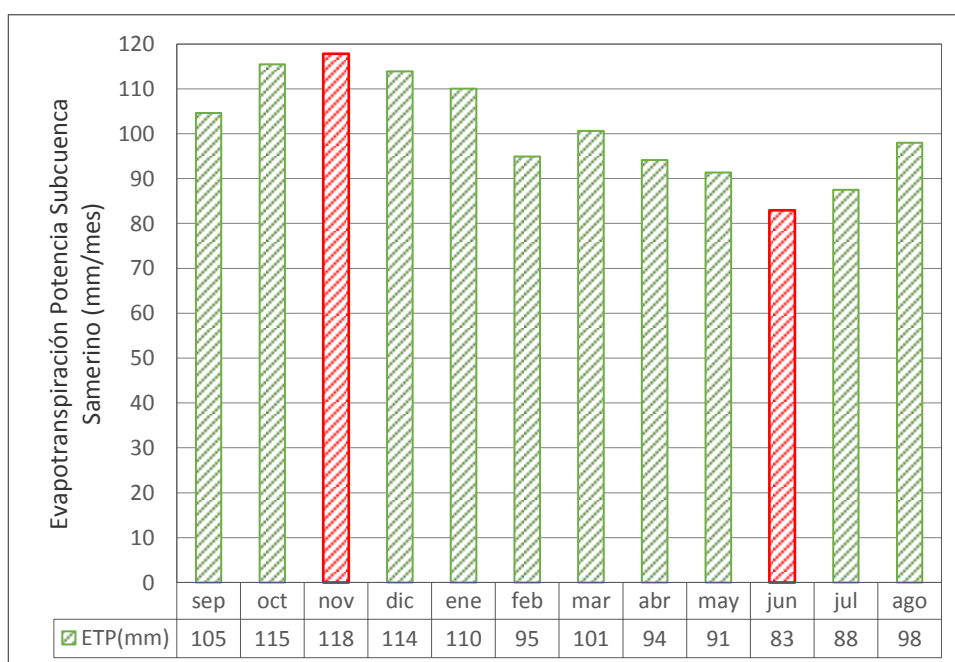
**Figura 6-58 Caracterización de la Evapotranspiración en la Subcuenca Corinto**

### 6.3.5.3 Evapotranspiración en la Subcuenca Samerino

Con respecto a la climatología de la ETP en la subcuenca Samerino, se ha determinado que anualmente presenta en promedio 1212 mm, sus valores máximos se presentan en el mes de noviembre con un valor acumulado de 118 mm/mes, lo cual representa una tasa de 3.9 mm/día. En el mes de junio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 83 mm/mes, que equivale a una tasa de 2.8 mm/día.

Espacialmente se ha determinado que la ETP presenta una variabilidad comprendida en el rango de 1062 mm a 1403 mm.

En la figura 6-59 se puede apreciar el ciclo anual la ETP de la subcuenca Samerino.



**Figura 6-59 Caracterización de la Evapotranspiración en la Subcuenca Samerino**

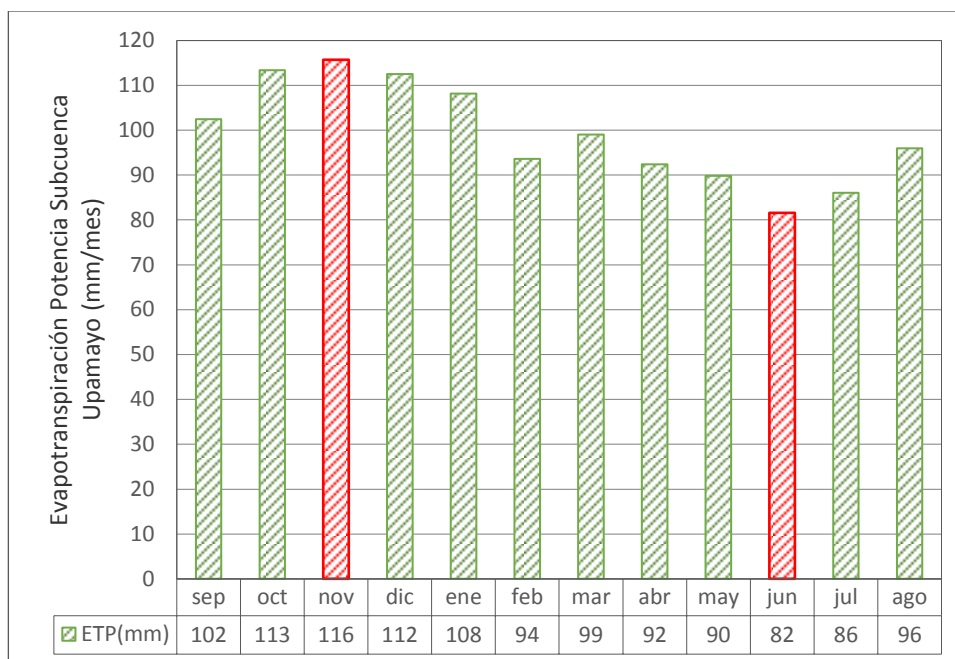


#### 6.3.5.4 Evapotranspiración en la Subcuenca Upamayo

Con respecto a la climatología de la ETP en la subcuenca Upamayo, se ha determinado que anualmente presenta en promedio 1190 mm y sus valores máximos se presentan en el mes de noviembre con un valor acumulado de 116 mm/mes, lo cual representa una tasa de 3.9 mm/día. En el mes de junio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 82 mm/mes, que equivale a una tasa de 2.7 mm/día.

Espacialmente se ha determinado que la ETP presenta una variabilidad comprendida en el rango de 1056 mm a 1299 mm.

En la figura 6-60 se puede apreciar el ciclo anual la ETP de la subcuenca Upamayo.



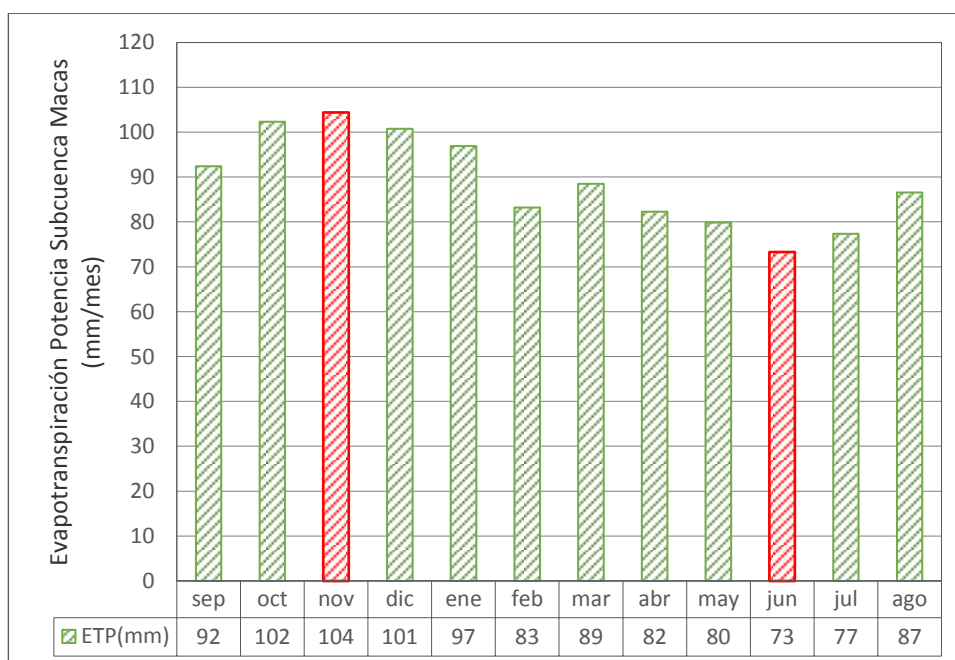
**Figura 6-60 Caracterización de la Evapotranspiración en la Subcuenca Upamayo**

#### 6.3.5.5 Evapotranspiración en la Subcuenca Macas

Con respecto a la climatología de la ETP en la subcuenca Macas, se ha determinado que anualmente presente en promedio 1067 mm y sus valores máximos se presentan en el mes de noviembre con un valor acumulado de 104 mm/mes, lo cual representa una tasa de 3.5 mm/día. En el mes de junio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 73 mm/mes, que equivale a una tasa de 2.4 mm/día.

Espacialmente se ha determinado que la ETP presenta una variabilidad comprendida en el rango de 1009 mm a 1119 mm.

En la figura 6-61 se puede apreciar el ciclo anual la ETP de la subcuenca Macas.



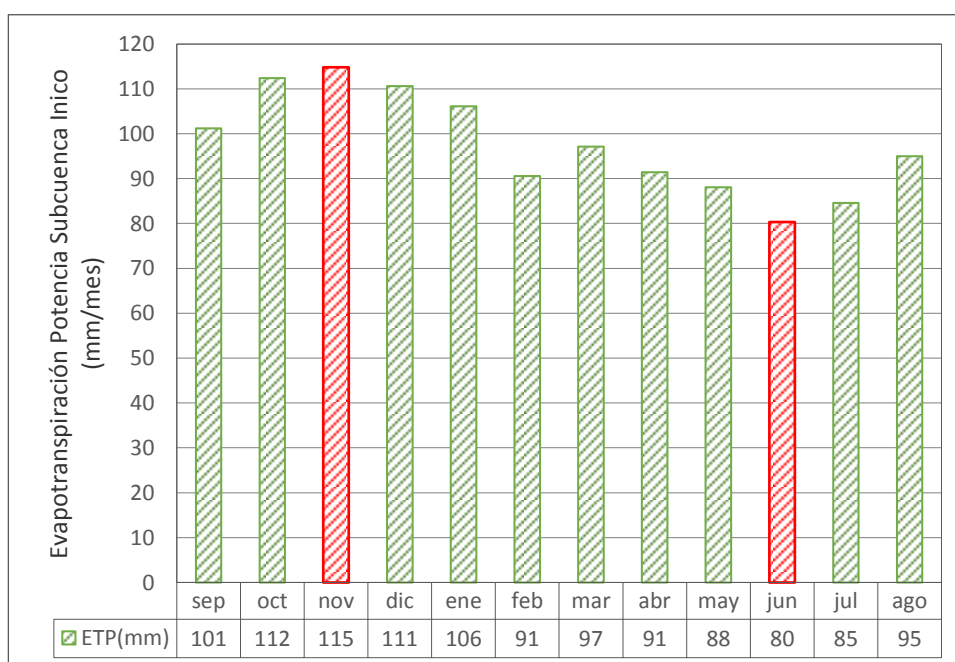
**Figura 6-61 Caracterización de la Evapotranspiración en la Subcuenca Macas**

#### 6.3.5.6 Evapotranspiración en la Subcuenca Inico

Con respecto a la climatología de la ETP en la subcuenca Inico, se ha determinado que anualmente presente en promedio 1172 mm y sus valores máximos se presentan en el mes de noviembre con un valor acumulado de 115 mm/mes, lo cual representa una tasa de 3.8 mm/día. En el mes de junio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 80 mm/mes, que equivale a una tasa de 2.7 mm/día.

Espacialmente se ha determinado que la ETP presenta una variabilidad comprendida en el rango de 1009 mm a 1410 mm.

En la figura 6-62 se puede apreciar el ciclo anual la ETP de la subcuenca Inico.



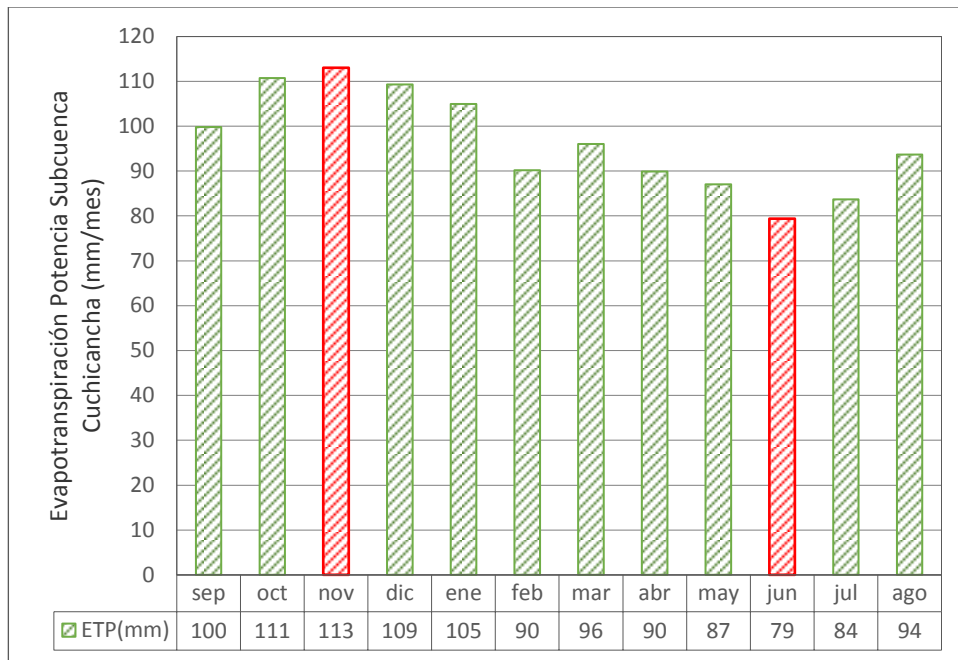
**Figura 6-62 Caracterización de la Evapotranspiración en la Subcuenca Inico**

### 6.3.5.7 Evapotranspiración en la Subcuenca Cuchicancha

Con respecto a la climatología de la ETP en la subcuenca Cuchicancha, se ha determinado que anualmente presenta en promedio 1158 mm y sus valores máximos se presentan en el mes de noviembre con un valor acumulado de 113 mm/mes, lo cual representa una tasa de 3.8 mm/día. En el mes de junio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 79 mm/mes, que equivale a una tasa de 2.6 mm/día.

Espacialmente se ha determinado que la ETP presenta una variabilidad comprendida en el rango de 1029 mm a 1407 mm.

En la figura 6-63 se puede apreciar el ciclo anual la ETP de la subcuenca Cuchicancha.



**Figura 6-63 Caracterización de la Evapotranspiración en la Subcuenca Cuchicancha**

## **CAPÍTULO VII**

### **OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL**

## 7 Oferta hídrica superficial

### 7.1 Climatología del escurrimiento superficial

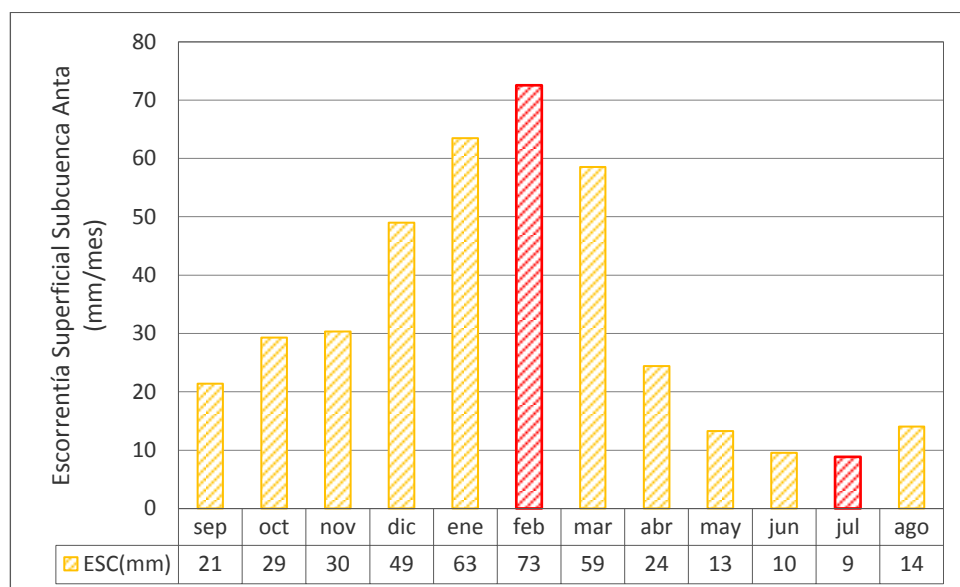
En el *ANEXO-MAPAS-Mapa N° ESC-01 al N° ESC-13* se presenta los mapas de Escorrentía superficial a escala temporal mensual y anual; y escala espacial de distrito. Asimismo se ha evaluado su distribución espacial a nivel de subcuencas.

#### 7.1.1 Escurrimiento superficial en la Subcuenca Anta

La climatología de esta variable en la subcuenca Anta, se ha determinado que sus valores máximos se presentan en el mes de febrero con un valor acumulado de 73 mm/mes y en el mes de julio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 9 mm/mes. A escala anual registra 395 mm.

Espacialmente el escurrimiento superficial en esta subcuenca incrementa con la altitud desde 316 mm hasta 456 mm.

La Figura 7-1 muestra el ciclo anual del escurrimiento superficial en la subcuenca Anta.



**Figura 7-1 Caracterización del Escurrimiento en la Subcuenca Anta**

#### 7.1.2 Escurrimiento superficial en la Subcuenca Corinto

La climatología de esta variable en la subcuenca Corinto, se ha determinado que sus valores máximos se presentan en el mes de febrero con un valor acumulado de 69 mm/mes y en el mes de julio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 9 mm/mes. A escala anual registra 382 mm.

Espacialmente el escurrimiento superficial en esta subcuenca incrementa con la altitud desde 315 mm hasta 448 mm.

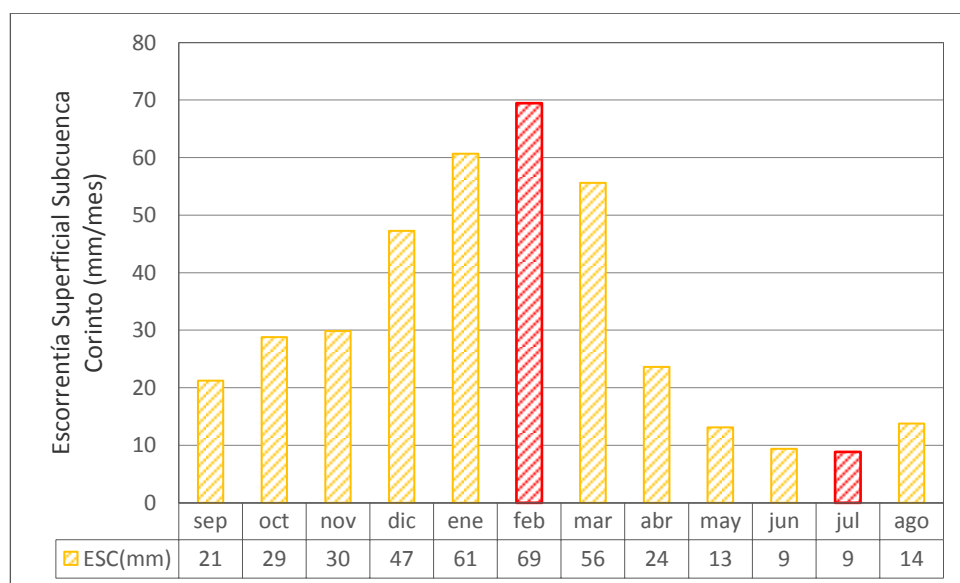
La Figura 7-2 muestra el ciclo anual del escurrimiento superficial en la subcuenca Corinto.

#### 7.1.3 Escurrimiento superficial en la Subcuenca Samerino

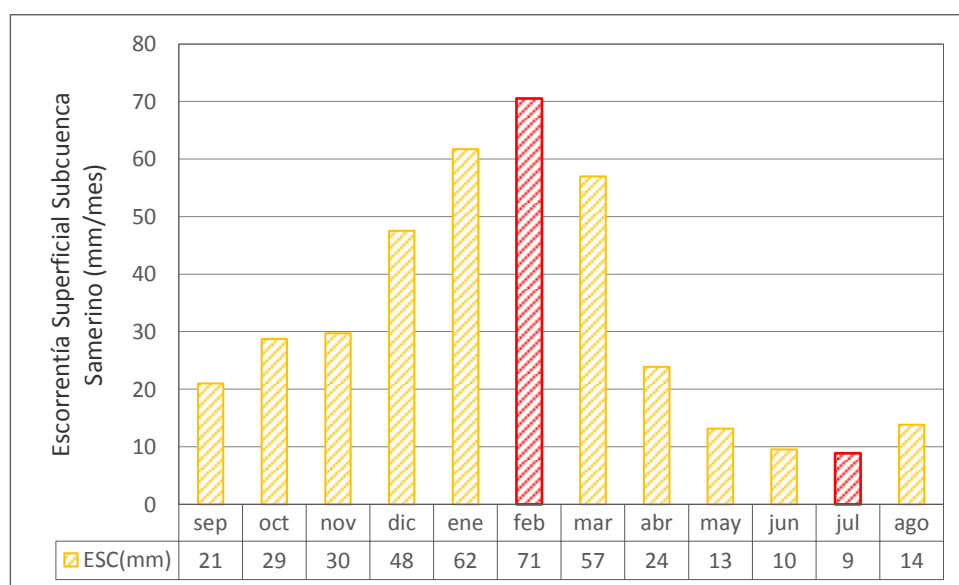
La climatología de esta variable en la subcuenca Samerino, se ha determinado que sus valores máximos se presentan en el mes de febrero con un valor acumulado de 71 mm/mes y en el mes de julio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 9 mm/mes. A escala anual registra 386 mm.

Espacialmente el escurrimiento superficial en esta subcuenca incrementa con la altitud desde 312 mm hasta 459 mm.

La Figura 7-3 muestra el ciclo anual del escurrimiento superficial en la subcuenca Samerino.



**Figura 7-2 Caracterización del Escurrimiento en la Subcuenca Corinto**



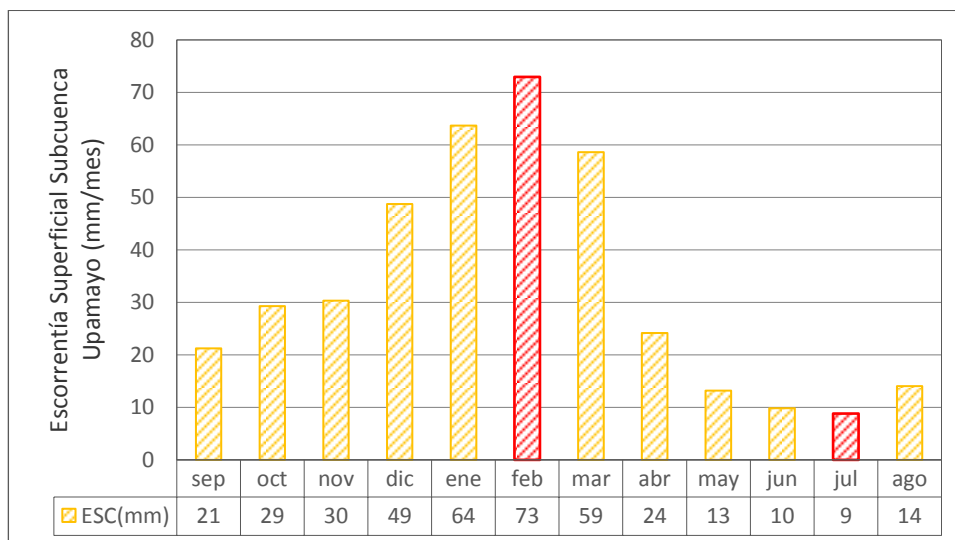
**Figura 7-3 Caracterización del Escurrimiento en la Subcuenca Samerino**

#### 7.1.4 Escurrimiento superficial en la Subcuenca Upamayo

La climatología de esta variable en la subcuenca Anta, se ha determinado que sus valores máximos se presentan en el mes de febrero con un valor acumulado de 73 mm/mes y en el mes de julio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 9 mm/mes. A escala anual registra 395 mm.

Espacialmente el escurrimiento superficial en esta subcuenca incrementa con la altitud desde 340 mm hasta 463 mm.

La Figura 7-4 muestra el ciclo anual del escurrimiento superficial en la subcuenca Samerino.



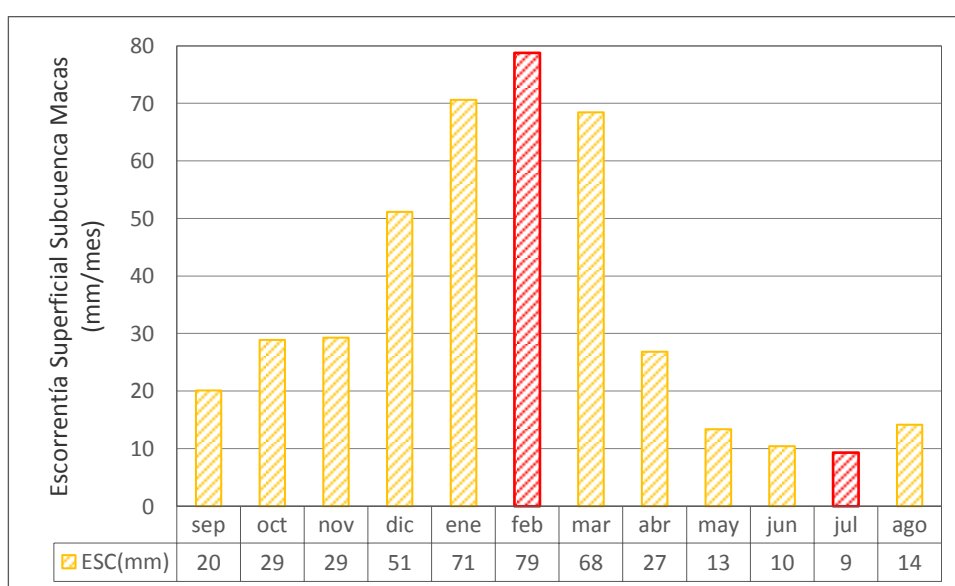
**Figura 7-4 Caracterización del Escurrimiento en la Subcuenca Upamayo**

#### 7.1.5 Escurrimiento superficial en la Subcuenca Macas

La climatología de esta variable en la subcuenca Anta, se ha determinado que sus valores máximos se presentan en el mes de febrero con un valor acumulado de 79 mm/mes y en el mes de julio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 9 mm/mes. A escala anual registra 422 mm.

Espacialmente el escurrimiento superficial en esta subcuenca incrementa con la altitud desde 372 mm hasta 439 mm.

La Figura 7-5 muestra el ciclo anual del escurrimiento superficial en la subcuenca Macas.



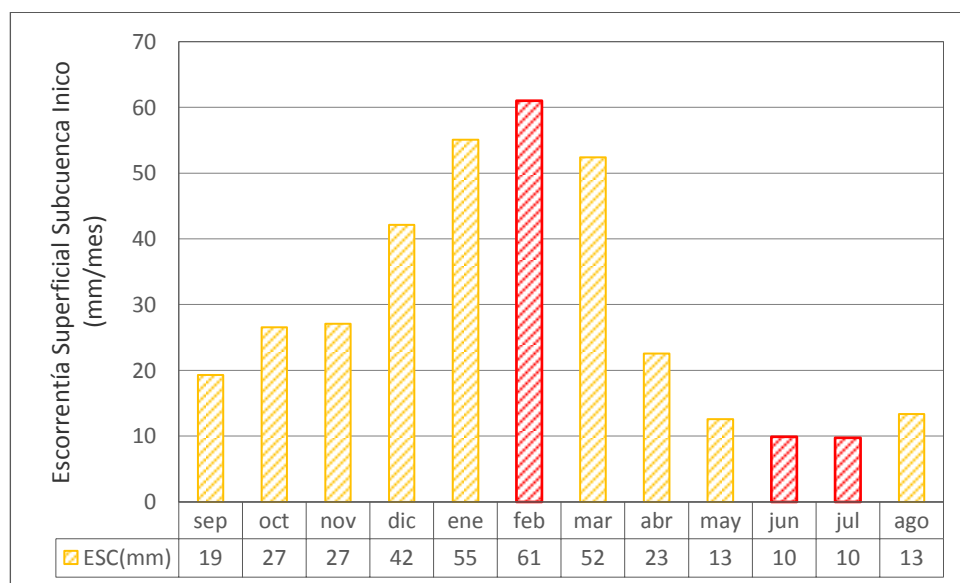
**Figura 7-5 Caracterización del Escurrimiento en la Subcuenca Macas**

### 7.1.6 Esgurrimiento superficial en la Subcuenca Inico

La climatología de esta variable en la subcuenca Anta, se ha determinado que sus valores máximos se presentan en el mes de febrero con un valor acumulado de 61 mm/mes y en el mes de julio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 10 mm/mes. A escala anual registra 352 mm.

Espacialmente el escurrimiento superficial en esta subcuenca incrementa con la altitud desde 259 mm hasta 446 mm.

La Figura 7-6 muestra el ciclo anual del escurrimiento superficial en la subcuenca Inico.



**Figura 7-6 Caracterización del Esgurrimiento en la Subcuenca Inico**

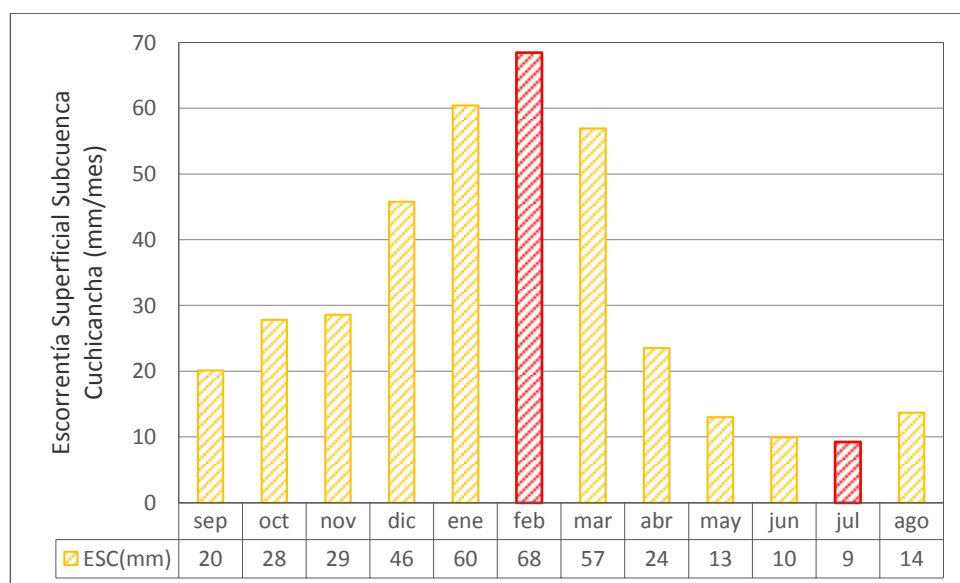
### 7.1.7 Esgurrimiento superficial en la Subcuenca Cuchicancha

La climatología de esta variable en la subcuenca Anta, se ha determinado que sus valores máximos se presentan en el mes de febrero con un valor acumulado de 68 mm/mes y en el mes de julio, esta variable alcanza sus valores mínimos con un valor acumulado de 9 mm/mes. A escala anual registra 378 mm.

Espacialmente el escurrimiento superficial en esta subcuenca incrementa con la altitud desde 271 mm hasta 447 mm.

La Figura 7-7 muestra el ciclo anual del escurrimiento superficial en la subcuenca Cuchicancha.





**Figura 7-7 Caracterización del Esguimiento en la Subcuenca Cuchicancha**

## 7.2 Caudales anuales generados

Para la generación de información de caudales anuales se ha tenido en cuenta los siguientes supuestos:

- Los parámetros de un modelo calibrado transponer a cuencas sin información bajo el supuesto de homogeneidad regional de cuencas.
- El análisis regional, permite derivar el uso de modelos matemáticos para la generación los caudales y se justifica su uso en la medida que existe escasa a nula información hidrológica en el área de estudio.

Es así, que se aplicado el Método de Budyko, Modelo Lutz, método de transposición hidrométrica y Modelos Gr2m

La Tabla 7-1 muestra los caudales generados simulados para la cuenca del río Virgen en la estación hidrométrica Yulapuquio, por diferentes métodos, y se observa que el modelo Gr2m es el que presenta más precisión con 1% de diferencia entre caudal observado y generado; dado que esta cuenca se emplaza en la cuenca del Mantaro, por los supuestos antes mencionados servirá de base para la desagregación mensual de los caudales en las subcuencas de interés.

**Tabla 7-1 Caudal promedio anual estimado por modelos en la Estación Yulapuquio**

Cuenca Virgen – Estación H Yulapuquio		
METODO	Qanual (m³/s)	%error
Budyko	16.4	65
Q_Cn	13.4	58
Q regional_Mantaro	8.1	30
Q regional_Halcrow	12.7	55
GR2m	5.7	1
Qobservado	5.68	

Fuente. Estudio de caracterización del distrito de Huando, 2015

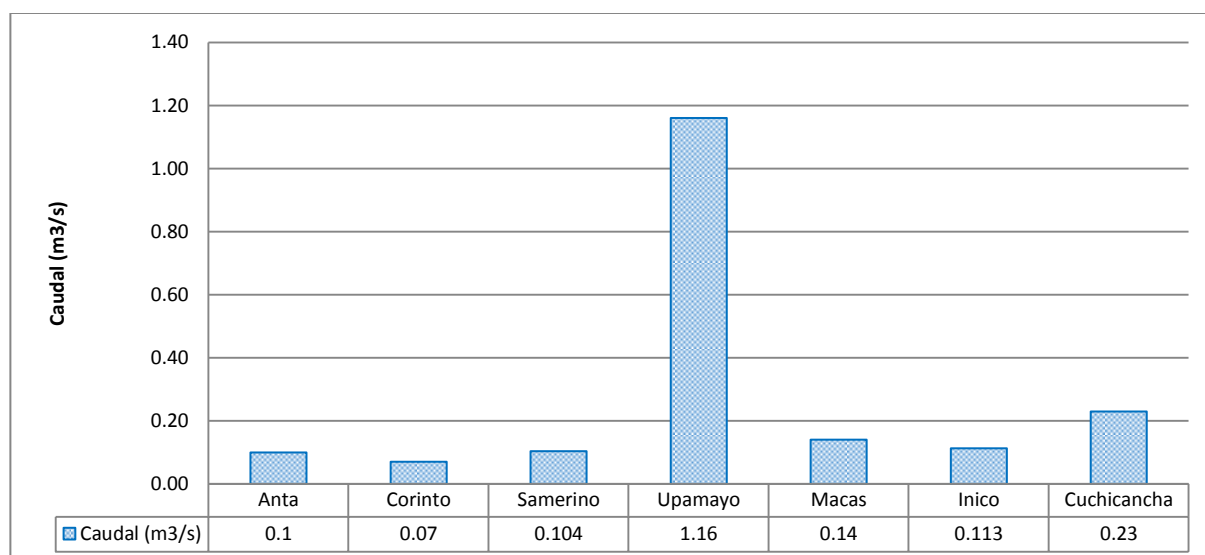
La Tabla 7-2 muestra los caudales anuales generados en las subcuenca en estudio por los métodos de Budyko y Lutz S. obtenido en base a la información climática de cada subcuenca.

Cabe mencionar que el método de Transposición Hidrométrica se realizó con los datos de caudales, precipitación y área de la subcuenca Pallca extraído del estudio de caracterización hidrológica del distrito de Huando (SENAMHI, 2015) y la subcuenca Upamayo. Este último permitió transferir información para las seis subcuencas restantes en estudio. Es así que se puede observar que los módulos obtenidos están próximos, y se ha seleccionaron los módulos obtenidos con el método de transposición hidrométrica, por ser más conservadores. La Figura 7-8 muestra los caudales anuales generados para las siete subcuencas en estudio ellos fluctúa entre 0.377 m<sup>3</sup>/s hasta 2.365 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a las subcuencas de los ríos Corinto y Upamayo, respectivamente.

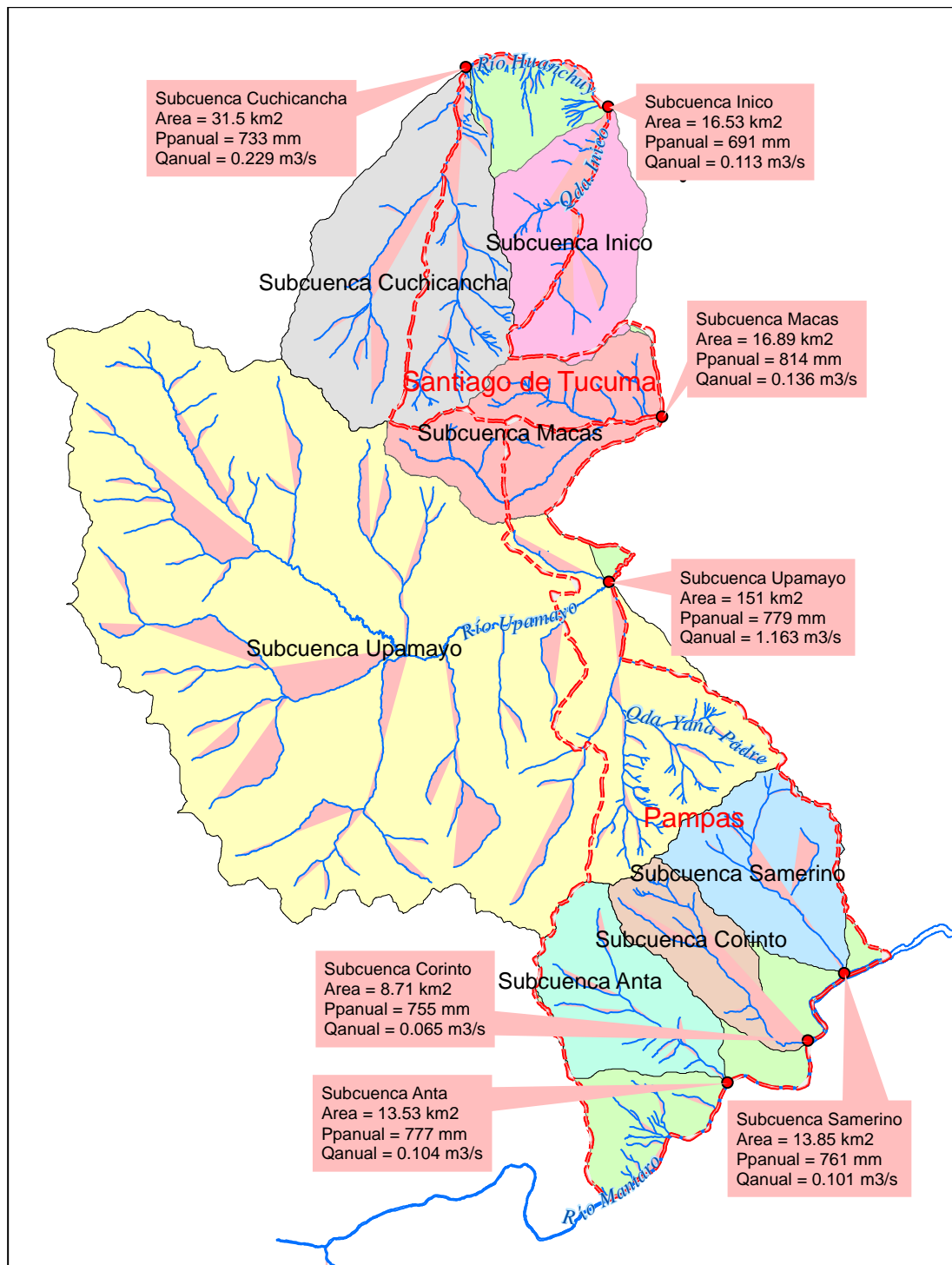
**Tabla 7-2 Caudal promedio anual estimado por diferentes métodos**

METODO	Caudal Anual (m <sup>3</sup> /s)						
	Anta	Corinto	Samerino	Upamayo	Macas	Inico	Cuchicancha
<b>Budiko</b>	0.137	0.082	0.126	1.491	0.204	0.131	0.286
<b>Lutz S.</b>	0.159	0.102	0.162	1.646	0.231	0.167	0.386
<b>Transposición</b>	0.104	0.065	0.104	1.163	0.136	0.113	0.229

**Figura 7-8 Caudal promedio anual en la línea base 1981-2015**



La Figura 7-9 muestra los módulos de lluvia y caudal a escala anual para cada una de las siete microcuencas evaluadas, así como las áreas de drenaje que abarcan. En resumen se aprecia que la subcuenca Upamayo es la que presenta mayor oferta hídrica con 1.163 m<sup>3</sup>/s y la subcuenca Anta es la que presenta menor oferta hídrica es 0.104 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 7-9 Caudal y Precipitación anual a la salida de las subcuencas en estudio**

### 7.3 Caracterización de la oferta hídrica superficial

La desagregación mensual de caudales se ha realizado con el modelo GR2m, principalmente porque este método relaciona la información con una cuenca instrumentada (cuenca Virgen ubicada al norte) y es el que presentó mejor performance para el modelamiento de la subcuenca Pallca emplazada a la cuenca del Mantaro y muy próxima al área de estudio, resultados basados del estudio de caracterización hidroclimática del distrito de Huando, 2015.

### 7.3.1 Oferta hídrica Superficial en la subcuenca Anta

Esta subcuenca tiene un área de drenaje de 13.53 Km<sup>2</sup>, la caracterización de los caudales medios anuales generados a la salida de la subcuenca para el período en estudio se muestran en la Figura 7-10. Las Tablas 7-3 al 7-5 indican que el caudal promedio anual del río Anta es de 0.134 m<sup>3</sup>/s, en años húmedos crece a 0.199 m<sup>3</sup>/s y en años secos puede bajar a 0.082 m<sup>3</sup>/s; y para niveles de persistencia de 50% es de 0.127 m<sup>3</sup>/s. A escala mensual, en época de avenidas el caudal medio alcanza 0.425 m<sup>3</sup>/s (febrero) y en estiaje llega a valores mínimos de 0.018 m<sup>3</sup>/s (setiembre).

**Figura 7-10 Síntesis de los caudales generados en subcuenca Anta**

Parámetro	Unidad	Valor
Area drenaje	Km <sup>2</sup>	13.53
Caudal promedio anual	m <sup>3</sup> /s	0.134
Caudal máximo	m <sup>3</sup> /s	1.54
Caudal mínimo	m <sup>3</sup> /s	0.011
Caudal promedio anual en años secos	m <sup>3</sup> /s	0.082
Caudal promedio anual en años húmedos	m <sup>3</sup> /s	0.199
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.127
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.100
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.097
Caudal promedio anual en años "El Niño"	m <sup>3</sup> /s	0.114
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m <sup>3</sup> /s	0.166
Volumen máximo disponible	MMC	6.20
Volumen mínimo disponible	MMC	2.56

**Tabla 7-3 Parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales subcuenca Anta**

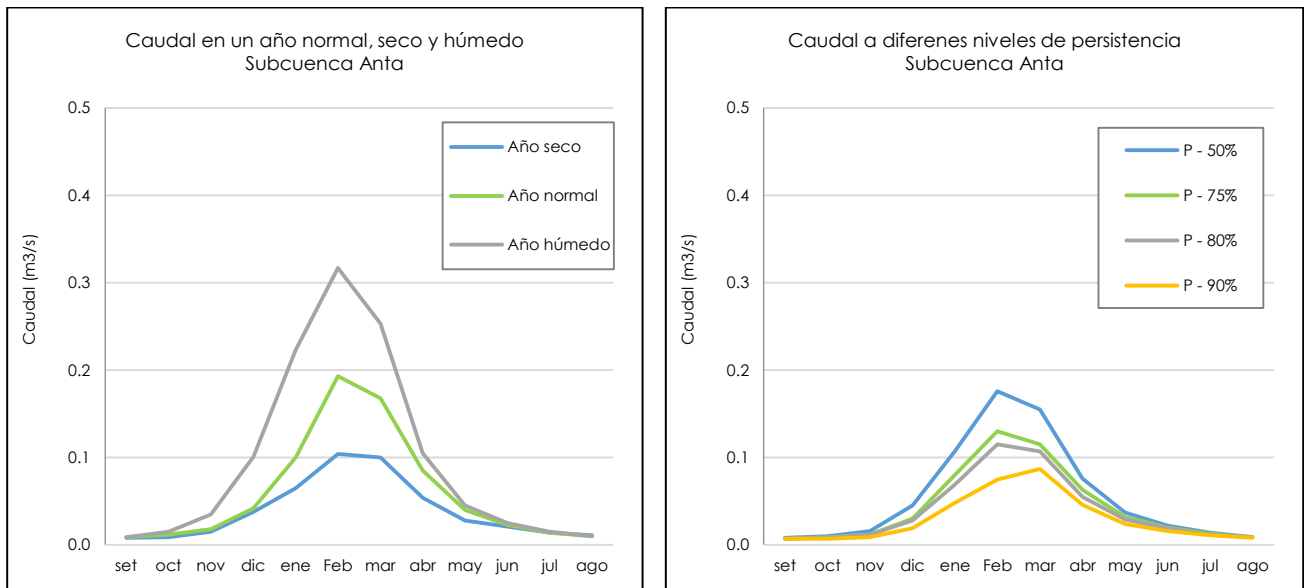
Parámetro	PARAMETROS ESTADISTICOS DE CAUDAL												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
Promedio	0.018	0.026	0.048	0.126	0.266	0.425	0.361	0.169	0.078	0.047	0.029	0.020	0.134
Mediana	0.017	0.022	0.034	0.096	0.225	0.374	0.328	0.162	0.077	0.046	0.028	0.019	0.127
DS	0.005	0.020	0.056	0.112	0.172	0.242	0.253	0.073	0.023	0.012	0.006	0.004	0.056
CV	0.299	0.778	1.159	0.894	0.646	0.568	0.700	0.435	0.299	0.266	0.221	0.213	0.416
Máx	0.033	0.130	0.318	0.490	0.675	1.220	1.542	0.417	0.146	0.092	0.052	0.038	0.306
Min	0.011	0.013	0.012	0.017	0.036	0.064	0.094	0.058	0.036	0.027	0.018	0.014	0.041

**Tabla 7-4 Caudales característicos en año normal, año seco y año húmedo subcuenca Anta**

AÑO	CAUDAL PROMEDIO EN AÑOS SECOS , NORMALES Y HUMEDOS (m3/s)												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
SECO	0.017	0.020	0.032	0.081	0.154	0.226	0.203	0.106	0.056	0.042	0.027	0.020	0.082
NORMAL	0.019	0.031	0.057	0.115	0.210	0.392	0.331	0.172	0.081	0.047	0.029	0.020	0.125
HUMEDO	0.018	0.024	0.052	0.185	0.454	0.672	0.560	0.227	0.095	0.052	0.031	0.021	0.199

**Tabla 7-5 Caudales característicos para diferente persistencia de caudal subcuena Anta**

Persistencia	PERSISTENCIA DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL (m3/s)												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
<b>P - 50%</b>	0.017	0.022	0.034	0.096	0.225	0.374	0.328	0.162	0.077	0.046	0.028	0.019	0.127
<b>P - 75%</b>	0.014	0.018	0.027	0.065	0.166	0.291	0.237	0.129	0.064	0.040	0.026	0.018	0.100
<b>P - 80%</b>	0.014	0.018	0.026	0.061	0.152	0.238	0.222	0.113	0.060	0.039	0.025	0.018	0.097
<b>P - 90%</b>	0.013	0.015	0.019	0.042	0.106	0.158	0.182	0.095	0.051	0.033	0.022	0.017	0.078



**Figura 7-11 Hidrograma de caudales medios mensuales generados en la subcuenca Anta**

### 7.3.2 Oferta hídrica Superficial en la subcuenca Corinto

Esta subcuenca tiene un área de drenaje de 8.71 Km<sup>2</sup>, la caracterización de los caudales medios anuales generados a la salida de la subcuenca Corinto para el período en estudio se muestran en la Figura 7-12. Las Tablas 7-6 al 7-8 indican que el caudal medio anual del río Corinto es de 0.06 m<sup>3</sup>/s, en años húmedos crece a 0.096 m<sup>3</sup>/s y en años secos puede bajar a 0.039 m<sup>3</sup>/s y para niveles de persistencia de 50% es de 0.060 m<sup>3</sup>/s. A escala mensual, en época de avenidas el caudal medio alcanza 0.203 m<sup>3</sup>/s (febrero) y en estiaje llega a valores mínimos de 0.009 m<sup>3</sup>/s (setiembre).

**Figura 7-12 Síntesis de los caudales generados en la subcuenca Corinto**

Parámetro	Unidad	Valor
Area drenaje	Km <sup>2</sup>	8.71
Caudal promedio anual	m <sup>3</sup> /s	0.06
Caudal máximo	m <sup>3</sup> /s	0.79
Caudal mínimo	m <sup>3</sup> /s	0.005
Caudal promedio anual en años secos	m <sup>3</sup> /s	0.039
Caudal promedio anual en años húmedos	m <sup>3</sup> /s	0.096
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.060
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.048
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.046
Caudal promedio anual en años "El Niño"	m <sup>3</sup> /s	0.054
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m <sup>3</sup> /s	0.080
Volumen máximo disponible	MMC	2.99
Volumen minimo disponible	MMC	1.21

**Tabla 7-6 Parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales subcuenca Corinto**

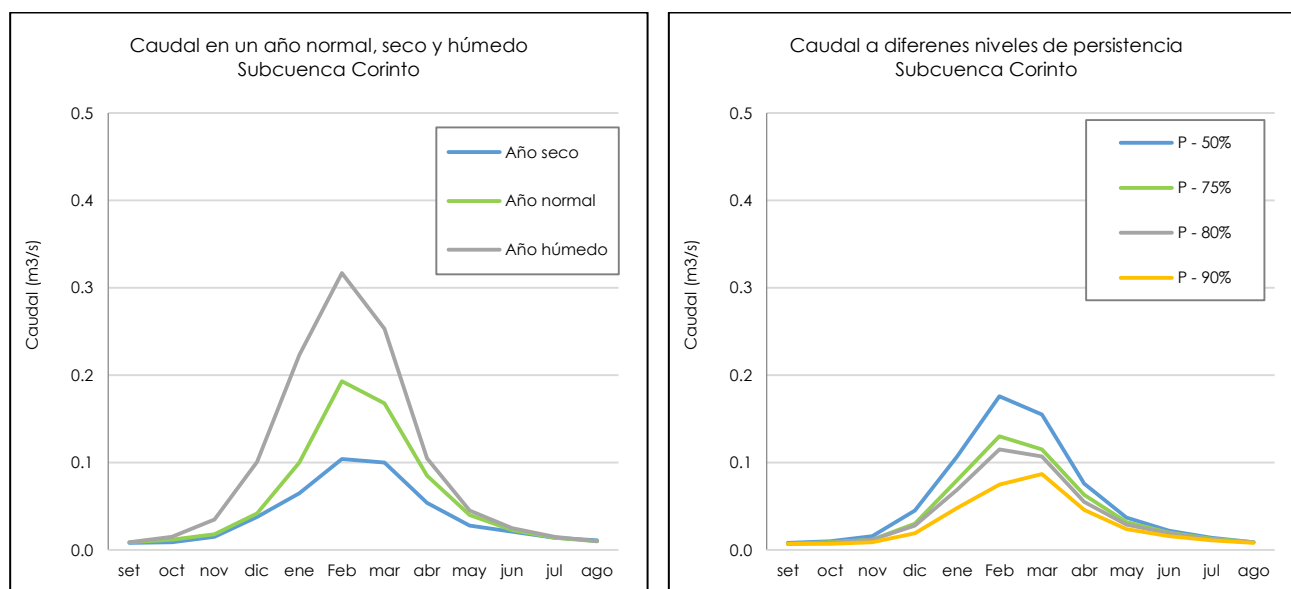
Parámetro	PARAMETROS ESTADISTICOS DE CAUDAL												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
Promedio	0.009	0.012	0.022	0.058	0.126	0.203	0.173	0.081	0.038	0.023	0.014	0.010	0.064
Mediana	0.008	0.010	0.016	0.045	0.107	0.176	0.155	0.076	0.037	0.022	0.014	0.009	0.060
DS	0.003	0.009	0.025	0.051	0.084	0.120	0.129	0.036	0.012	0.006	0.003	0.002	0.028
CV	0.299	0.770	1.150	0.881	0.669	0.594	0.742	0.444	0.305	0.280	0.228	0.217	0.434
Máx	0.016	0.061	0.149	0.228	0.341	0.602	0.786	0.206	0.073	0.047	0.027	0.019	0.154
Min	0.005	0.006	0.006	0.007	0.016	0.029	0.045	0.028	0.018	0.013	0.009	0.007	0.019

**Tabla 7-7 Caudales característicos en año normal, año seco y año húmedo subcuenca Corinto**

AÑO	CAUDAL PROMEDIO EN AÑOS SECOS , NORMALES Y HUMEDOS (m3/s)												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
SECO	0.008	0.009	0.015	0.038	0.065	0.104	0.100	0.054	0.028	0.021	0.014	0.011	0.039
NORMAL	0.009	0.012	0.018	0.042	0.100	0.193	0.168	0.085	0.040	0.023	0.014	0.010	0.059
HUMEDO	0.009	0.015	0.035	0.101	0.223	0.317	0.253	0.105	0.045	0.025	0.015	0.010	0.096

**Tabla 7-8 Caudales característicos para diferente persistencia mensual subcuenca Corinto**

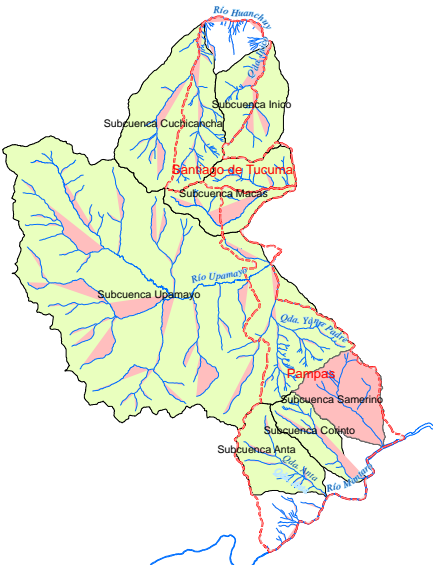
Persistencia	PERSISTENCIA DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL (m3/s)												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
P - 50%	0.008	0.010	0.016	0.045	0.107	0.176	0.155	0.076	0.037	0.022	0.014	0.009	0.060
P - 75%	0.007	0.009	0.012	0.030	0.080	0.130	0.115	0.063	0.032	0.020	0.013	0.009	0.048
P - 80%	0.007	0.008	0.012	0.028	0.069	0.115	0.107	0.055	0.029	0.019	0.012	0.009	0.046
P - 90%	0.007	0.007	0.009	0.019	0.048	0.075	0.087	0.046	0.024	0.016	0.011	0.008	0.037

**Figura 7-13 Hidrograma de caudales medios mensuales generados en la subcuenca Corinto**

### 7.3.3 Oferta hídrica Superficial en la subcuenca Samerino

Esta subcuenca tiene un área de drenaje de 13.85 Km<sup>2</sup>, la caracterización de los caudales medios anuales generados a la salida de la subcuenca Samerino para el período en estudio se muestran en la Figura 7-14. Las Tablas 7-9 al 7-11 indican que el caudal medio anual del río Samerino es de 0.10 m<sup>3</sup>/s, en años húmedos crece a 0.155 m<sup>3</sup>/s y en años secos puede bajar a 0.061 m<sup>3</sup>/s y para niveles de persistencia de 50% es de 0.095 m<sup>3</sup>/s. A escala mensual, en época de avenidas el caudal medio alcanza 0.326 m<sup>3</sup>/s (febrero) y en estiaje llega a valores mínimos de 0.014 m<sup>3</sup>/s (setiembre).

**Figura 7-14 Síntesis de los caudales generados en la subcuenca Samerino**

Parámetro	Unidad	Valor	
Area drenaje	Km <sup>2</sup>	13.85	
Caudal promedio anual	m <sup>3</sup> /s	0.10	
Caudal máximo	m <sup>3</sup> /s	1.29	
Caudal mínimo	m <sup>3</sup> /s	0.009	
Caudal promedio anual en años secos	m <sup>3</sup> /s	0.061	
Caudal promedio anual en años húmedos	m <sup>3</sup> /s	0.155	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.095	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.075	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.072	
Caudal promedio anual en años "El Niño"	m <sup>3</sup> /s	0.082	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m <sup>3</sup> /s	0.128	
Volumen máximo disponible	MMC	4.81	
Volumen mínimo disponible	MMC	1.89	

**Tabla 7-9 Parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales subcuenca Samerino**

Parámetro	PARAMETROS ESTADISTICOS DE CAUDAL												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
Promedio	0.014	0.019	0.034	0.091	0.201	0.326	0.279	0.131	0.061	0.038	0.023	0.017	0.103
Mediana	0.014	0.017	0.025	0.074	0.166	0.278	0.244	0.120	0.060	0.036	0.023	0.015	0.095
DS	0.004	0.014	0.037	0.076	0.145	0.205	0.213	0.060	0.020	0.011	0.006	0.004	0.047
CV	0.294	0.749	1.067	0.832	0.720	0.629	0.764	0.457	0.323	0.293	0.238	0.220	0.458
Máx	0.027	0.095	0.222	0.362	0.613	1.000	1.292	0.339	0.125	0.078	0.044	0.031	0.256
Min	0.009	0.010	0.010	0.011	0.021	0.039	0.064	0.040	0.026	0.020	0.013	0.011	0.027

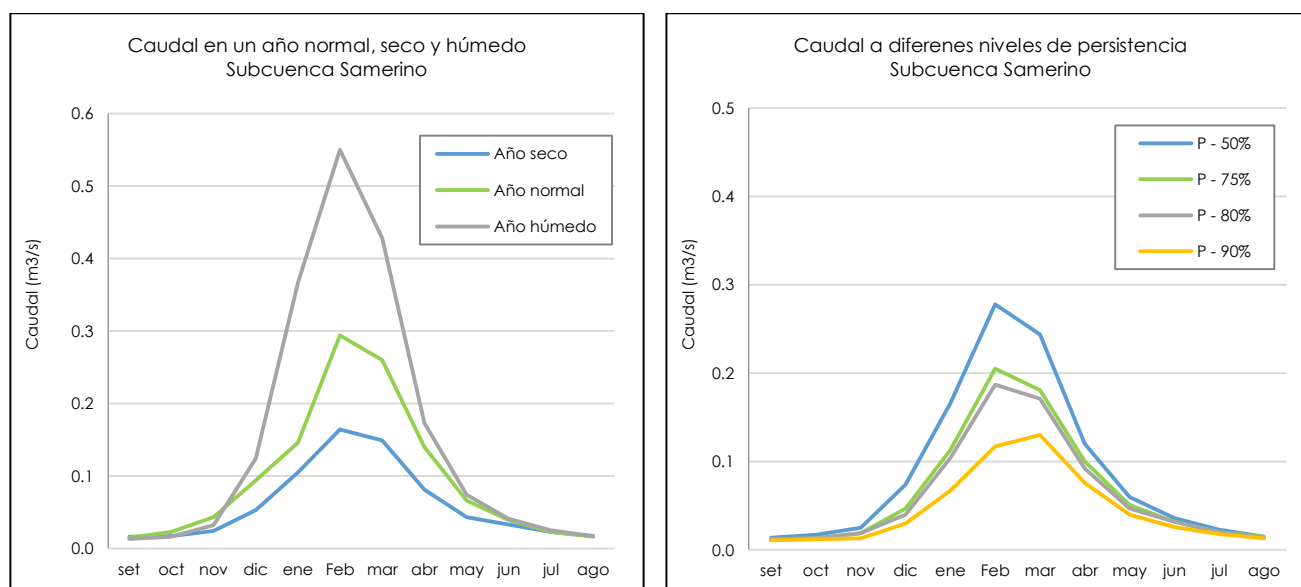
**Tabla 7-10 Caudales característicos en año normal, año seco y año húmedo subcuenca Samerino**

AÑO	CAUDAL PROMEDIO EN AÑOS SECOS , NORMALES Y HUMEDOS (m <sup>3</sup> /s)												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
SECO	0.016	0.017	0.024	0.053	0.105	0.164	0.149	0.081	0.043	0.033	0.023	0.017	0.061
NORMAL	0.015	0.023	0.043	0.094	0.146	0.294	0.260	0.140	0.066	0.039	0.023	0.016	0.096
HUMEDO	0.013	0.016	0.032	0.124	0.367	0.550	0.428	0.173	0.074	0.041	0.025	0.017	0.155

**Tabla 7-11 Caudales característicos para diferente persistencia mensual subcuenca samerino**

Persistencia	PERSISTENCIA DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL (m <sup>3</sup> /s)												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
P - 50%	0.014	0.017	0.025	0.074	0.166	0.278	0.244	0.120	0.060	0.036	0.023	0.015	0.095
P - 75%	0.012	0.013	0.019	0.047	0.113	0.205	0.181	0.100	0.051	0.032	0.020	0.015	0.075
P - 80%	0.012	0.013	0.019	0.040	0.104	0.187	0.171	0.092	0.047	0.032	0.020	0.014	0.072
P - 90%	0.011	0.012	0.013	0.030	0.067	0.117	0.130	0.076	0.040	0.026	0.018	0.013	0.061





**Figura 7-15 Hidrograma de caudales medios mensuales generados en la subcuenca Samerino**

#### 7.3.4 Oferta hídrica Superficial en la subcuenca Upamayo

Esta Subcuenca tiene un área de drenaje de 151.17 Km<sup>2</sup>, la caracterización de los caudales medios anuales generados a la salida de la subcuenca Upamayo para el período en estudio se muestran en la Figura 7-16. Las Tablas del 7-12 al 7-14 indican que el caudal medio anual del río Upamayo generado es de 1.15 m<sup>3</sup>/s, en años húmedos crece a 1.698 m<sup>3</sup>/s y en años secos puede bajar a 0.701 m<sup>3</sup>/s y para niveles de persistencia de 50% es de 1.065 m<sup>3</sup>/s. A escala mensual, en época de avenidas el caudal medio alcanza 3.676 m<sup>3</sup>/s (febrero) y en estiaje llega a valores mínimos de 0.151 m<sup>3</sup>/s (setiembre).

Parámetro	Unidad	Valor	
Area drenaje	Km <sup>2</sup>	151.17	
Caudal promedio anual	m <sup>3</sup> /s	1.15	
Caudal máximo	m <sup>3</sup> /s	13.27	
Caudal mínimo	m <sup>3</sup> /s	0.091	
Caudal promedio anual en años secos	m <sup>3</sup> /s	0.701	
Caudal promedio anual en años húmedos	m <sup>3</sup> /s	1.698	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m <sup>3</sup> /s	1.065	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.873	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.827	
Caudal promedio anual en años "El Niño"	m <sup>3</sup> /s	0.942	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m <sup>3</sup> /s	1.414	
Volumen máximo disponible	MMC	52.78	
Volumen mínimo disponible	MMC	21.84	

**Figura 7-16 Síntesis de los caudales generados en la subcuenca Upamayo**



**Tabla 7-12 Parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales subcuenca Upamayo**

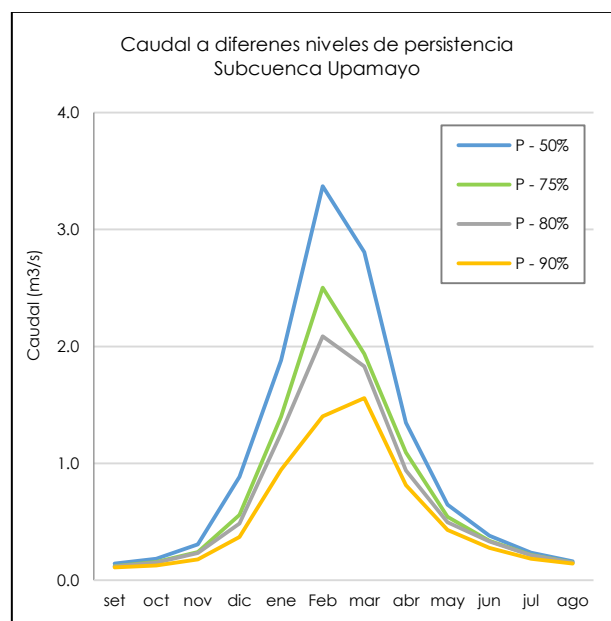
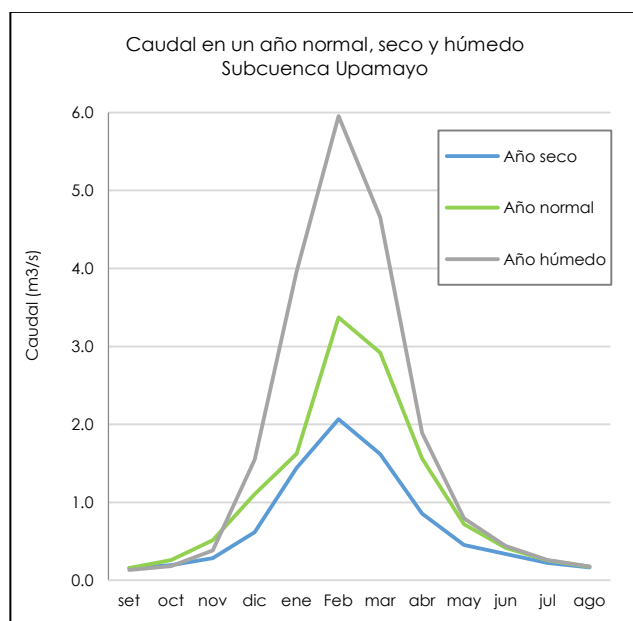
Parámetro	PARAMETROS ESTADISTICOS DE CAUDAL												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
Promedio	0.151	0.218	0.410	1.095	2.276	3.676	3.066	1.429	0.658	0.396	0.244	0.171	1.149
Mediana	0.143	0.184	0.307	0.884	1.882	3.370	2.807	1.347	0.646	0.380	0.236	0.162	1.065
DS	0.041	0.158	0.422	0.946	1.436	2.067	2.154	0.634	0.203	0.104	0.053	0.036	0.480
CV	0.273	0.725	1.030	0.863	0.631	0.562	0.703	0.443	0.309	0.264	0.219	0.207	0.417
Máx	0.267	1.045	2.523	4.610	5.607	10.267	13.274	3.714	1.314	0.737	0.426	0.311	2.693
Min	0.091	0.111	0.095	0.170	0.295	0.559	0.811	0.499	0.315	0.228	0.151	0.120	0.343

**Tabla 7-13 Caudales característicos en año normal, año seco y año húmedo subcuenca Upamayo**

AÑO	CAUDAL PROMEDIO EN AÑOS SECOS , NORMALES Y HUMEDOS (m3/s)												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
SECO	0.158	0.195	0.283	0.616	1.440	2.065	1.617	0.854	0.451	0.338	0.222	0.167	0.701
NORMAL	0.158	0.260	0.515	1.107	1.624	3.373	2.922	1.563	0.721	0.415	0.254	0.173	1.091
HUMEDO	0.133	0.180	0.383	1.547	3.961	5.956	4.657	1.890	0.795	0.439	0.258	0.176	1.698

**Tabla 7-14 Caudales característicos para diferente persistencia mensual subcuenca Upamayo**

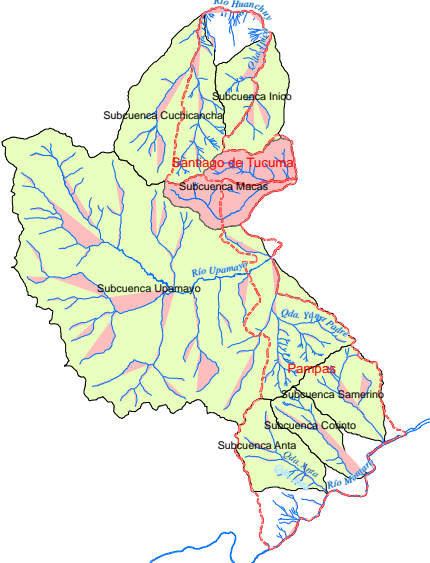
Persistencia	PERSISTENCIA DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL (m3/s)												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
P - 50%	0.143	0.184	0.307	0.884	1.882	3.370	2.807	1.347	0.646	0.380	0.236	0.162	1.065
P - 75%	0.121	0.156	0.241	0.560	1.400	2.503	1.937	1.093	0.543	0.337	0.217	0.152	0.873
P - 80%	0.118	0.152	0.234	0.484	1.256	2.085	1.830	0.938	0.496	0.332	0.213	0.150	0.827
P - 90%	0.111	0.126	0.178	0.369	0.944	1.402	1.557	0.814	0.431	0.277	0.185	0.142	0.683

**Figura 7-17 Hidrograma de caudales medios mensuales generados en la subcuenca Upamayo**

### 7.3.5 Oferta hídrica Superficial en la subcuenca Macas

Esta Subcuenca tiene un área de drenaje de 16.89 Km<sup>2</sup>, la caracterización de los caudales medios anuales generados a la salida de la subcuenca Macas para el período en estudio se muestran en la Figura 7-18. Las Tablas 7-15 al 7-17 indican que el caudal medio anual del río Macas es de 0.13 m<sup>3</sup>/s, en años húmedos crece a 0.205 m<sup>3</sup>/s y en años secos puede bajar a 0.078 m<sup>3</sup>/s y para niveles de persistencia de 50% es de 1.22 m<sup>3</sup>/s. A escala mensual, en época de avenidas el caudal medio alcanza 0.428 m<sup>3</sup>/s (febrero) y en estiaje llega a valores mínimos de 0.019 m<sup>3</sup>/s (setiembre).

**Figura 7-18 Síntesis de los caudales generados en la subcuenca Macas**

Parámetro	Unidad	Valor	
Area drenaje	Km <sup>2</sup>	16.89	
Caudal promedio anual	m <sup>3</sup> /s	0.13	
Caudal máximo	m <sup>3</sup> /s	1.83	
Caudal mínimo	m <sup>3</sup> /s	0.011	
Caudal promedio anual en años secos	m <sup>3</sup> /s	0.078	
Caudal promedio anual en años húmedos	m <sup>3</sup> /s	0.205	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.122	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.099	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.094	
Caudal promedio anual en años "El Niño"	m <sup>3</sup> /s	0.105	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m <sup>3</sup> /s	0.169	
Volumen máximo disponible	MMC	6.36	
Volumen minimo disponible	MMC	2.44	

**Tabla 7-15 Parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales subcuenca Macas**

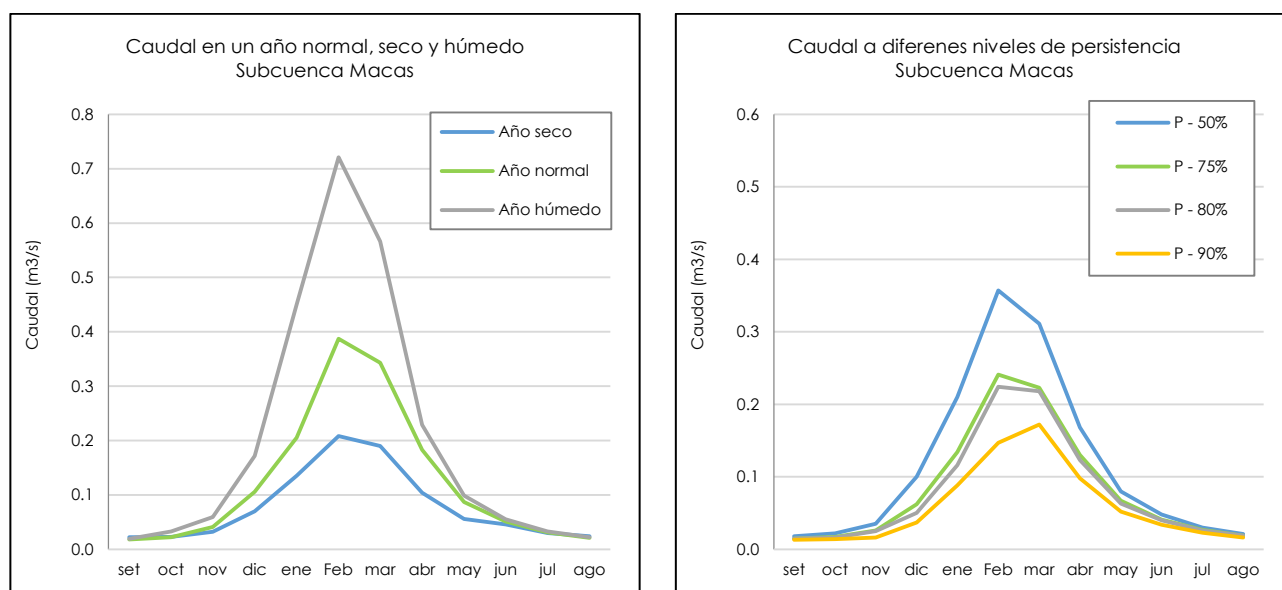
Parámetro	PARAMETROS ESTADISTICOS DE CAUDAL												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
Promedio	0.019	0.025	0.043	0.115	0.260	0.428	0.366	0.171	0.081	0.050	0.031	0.022	0.134
Mediana	0.018	0.022	0.035	0.100	0.210	0.357	0.311	0.168	0.080	0.048	0.030	0.021	0.122
DS	0.007	0.020	0.047	0.094	0.197	0.288	0.300	0.080	0.027	0.018	0.009	0.006	0.065
CV	0.357	0.798	1.097	0.813	0.761	0.674	0.818	0.469	0.334	0.357	0.279	0.267	0.487
Máx	0.045	0.130	0.299	0.519	0.842	1.326	1.825	0.452	0.169	0.127	0.068	0.047	0.362
Min	0.011	0.012	0.013	0.013	0.028	0.053	0.094	0.058	0.038	0.028	0.018	0.015	0.039

**Tabla 7-16 Caudales característicos en año normal, año seco y año húmedo subcuenca Macas**

AÑO	CAUDAL PROMEDIO EN AÑOS SECOS , NORMALES Y HUMEDOS (m3/s)												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
SECO	0.022	0.023	0.032	0.070	0.135	0.208	0.190	0.104	0.056	0.046	0.030	0.024	0.078
NORMAL	0.018	0.022	0.041	0.106	0.205	0.387	0.343	0.183	0.087	0.051	0.031	0.021	0.124
HUMEDO	0.019	0.033	0.059	0.172	0.450	0.721	0.566	0.229	0.099	0.055	0.033	0.022	0.205

**Tabla 7-17 Caudales característicos para diferente persistencia mensual subcuenca Macas**

Persistencia	PERSISTENCIA DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL (m3/s)												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
P - 50%	0.018	0.022	0.035	0.100	0.210	0.357	0.311	0.168	0.080	0.048	0.030	0.021	0.122
P - 75%	0.015	0.017	0.026	0.062	0.134	0.241	0.223	0.130	0.067	0.041	0.027	0.019	0.099
P - 80%	0.015	0.016	0.025	0.050	0.116	0.224	0.218	0.123	0.063	0.040	0.026	0.019	0.094
P - 90%	0.013	0.014	0.016	0.037	0.088	0.147	0.172	0.098	0.052	0.034	0.023	0.016	0.080



**Figura 7-19 Hidrograma de caudales medios mensuales generados en la subcuenca Macas**

### 7.3.6 Oferta hídrica Superficial en la subcuenca Inico

Esta Subcuenca tiene un área de drenaje de 16.53 Km<sup>2</sup>, la caracterización de los caudales medios anuales generados a la salida de la subcuenca Inico para el período en estudio se muestran en la Figura 7-20. Las Tablas 7-18 al 7-20 14 indican que el caudal medio anual del río Inico es de 0.11 m<sup>3</sup>/s, en años húmedos crece a 0.175 m<sup>3</sup>/s y en años secos puede bajar a 0.062 m<sup>3</sup>/s y para niveles de persistencia de 50% es de 0.101 m<sup>3</sup>/s. A escala mensual, en época de avenidas el caudal medio alcanza 0.367 m<sup>3</sup>/s (febrero) y en estiaje llega a valores mínimos de 0.014 m<sup>3</sup>/s (septiembre).

Parámetro	Unidad	Valor	
Area drenaje	Km <sup>2</sup>	16.53	
Caudal promedio anual	m <sup>3</sup> /s	0.11	
Caudal máximo	m <sup>3</sup> /s	1.20	
Caudal mínimo	m <sup>3</sup> /s	0.009	
Caudal promedio anual en años secos	m <sup>3</sup> /s	0.062	
Caudal promedio anual en años húmedos	m <sup>3</sup> /s	0.175	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.101	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.078	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.073	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m <sup>3</sup> /s	0.081	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m <sup>3</sup> /s	0.128	
Volumen máximo disponible	MMC	5.44	
Volumen mínimo disponible	MMC	1.93	

**Figura 7-20 Síntesis de los caudales generados en la subcuenca Inico**

**Tabla 7-18 Parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales subcuenca Inico**

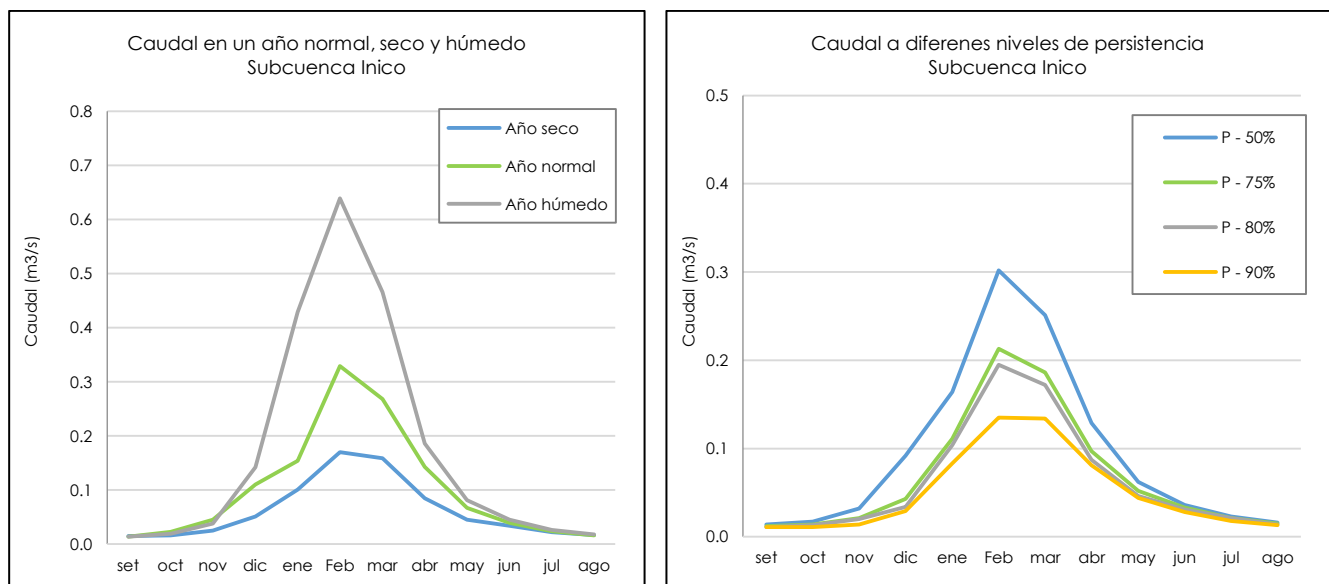
Parámetro	PARAMETROS ESTADISTICOS DE CAUDAL												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
Promedio	0.014	0.020	0.037	0.102	0.221	0.367	0.296	0.137	0.064	0.039	0.024	0.017	0.111
Mediana	0.014	0.017	0.032	0.092	0.164	0.302	0.251	0.129	0.062	0.036	0.023	0.016	0.101
DS	0.004	0.013	0.032	0.075	0.173	0.255	0.208	0.065	0.024	0.012	0.006	0.004	0.055
CV	0.250	0.641	0.854	0.741	0.784	0.695	0.703	0.472	0.367	0.315	0.257	0.218	0.491
Máx	0.024	0.082	0.188	0.351	0.780	1.143	1.204	0.360	0.152	0.081	0.043	0.029	0.276
Min	0.009	0.010	0.012	0.011	0.015	0.028	0.052	0.034	0.022	0.018	0.012	0.012	0.021

**Tabla 7-19 Caudales característicos en año normal, año seco y año húmedo subcuenca Inico**

AÑO	CAUDAL PROMEDIO EN AÑOS SECOS , NORMALES Y HUMEDOS (m3/s)												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
SECO	0.015	0.016	0.025	0.051	0.101	0.170	0.159	0.085	0.045	0.034	0.022	0.017	0.062
NORMAL	0.014	0.023	0.045	0.110	0.154	0.329	0.268	0.143	0.067	0.039	0.024	0.016	0.103
HUMEDO	0.014	0.019	0.038	0.142	0.429	0.639	0.466	0.186	0.081	0.045	0.026	0.018	0.175

**Tabla 7-20 Caudales característicos para diferente persistencia mensual subcuenca Inico**

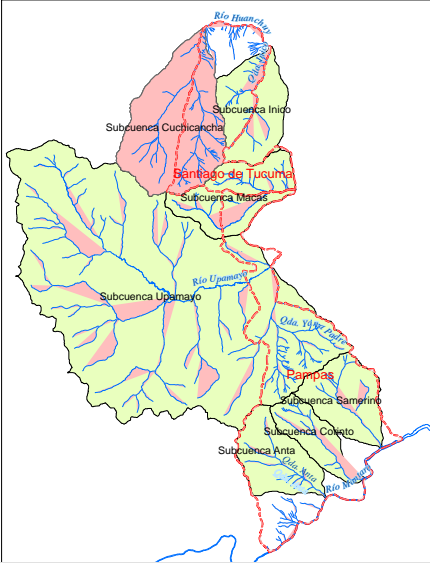
Persistencia	PERSISTENCIA DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL (m3/s)												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
P - 50%	0.014	0.017	0.032	0.092	0.164	0.302	0.251	0.129	0.062	0.036	0.023	0.016	0.101
P - 75%	0.012	0.014	0.021	0.043	0.111	0.213	0.186	0.097	0.052	0.033	0.021	0.015	0.078
P - 80%	0.011	0.013	0.020	0.034	0.104	0.195	0.172	0.087	0.046	0.031	0.021	0.014	0.073
P - 90%	0.011	0.011	0.014	0.029	0.083	0.135	0.134	0.081	0.044	0.028	0.018	0.013	0.066

**Figura 7-21 Hidrograma de caudales medios mensuales generados en la subcuenca Inico**

### 7.3.7 Oferta hídrica Superficial en la subcuenca Cuchicancha

Esta subcuenca tiene un área de drenaje de 31.56 Km<sup>2</sup>, la caracterización de los caudales medios anuales generados a la salida de la subcuenca Cuchicancha para el período en estudio se muestran en la Figura 7-22: Las Tablas 7-21 al 7-23 indican que el caudal medio anual del río Cuchicancha es de 0.23 m<sup>3</sup>/s, en años húmedos crece a 0.338 m<sup>3</sup>/s y en años secos puede bajar a 0.137 m<sup>3</sup>/s y para niveles de persistencia de 50% es de 0.211 m<sup>3</sup>/s. A escala mensual, en época de avenidas el caudal medio alcanza 0.714 m<sup>3</sup>/s (febrero) y en estiaje llega a valores mínimos de 0.031 m<sup>3</sup>/s (setiembre).

**Figura 7-22 Síntesis de los caudales generados en la subcuenca Cuchicancha**

Parámetro	Unidad	Valor	
Area drenaje	Km <sup>2</sup>	31.56	
Caudal promedio anual	m <sup>3</sup> /s	0.23	
Caudal máximo	m <sup>3</sup> /s	2.77	
Caudal mínimo	m <sup>3</sup> /s	0.019	
Caudal promedio anual en años secos	m <sup>3</sup> /s	0.137	
Caudal promedio anual en años húmedos	m <sup>3</sup> /s	0.338	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.211	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.169	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m <sup>3</sup> /s	0.163	
Caudal promedio anual en años "El Niño"	m <sup>3</sup> /s	0.189	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m <sup>3</sup> /s	0.282	
Volumen máximo disponible	MMC	10.51	
Volumen mínimo disponible	MMC	4.27	

**Tabla 7-21 Parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales subcuenca Cuchicancha**

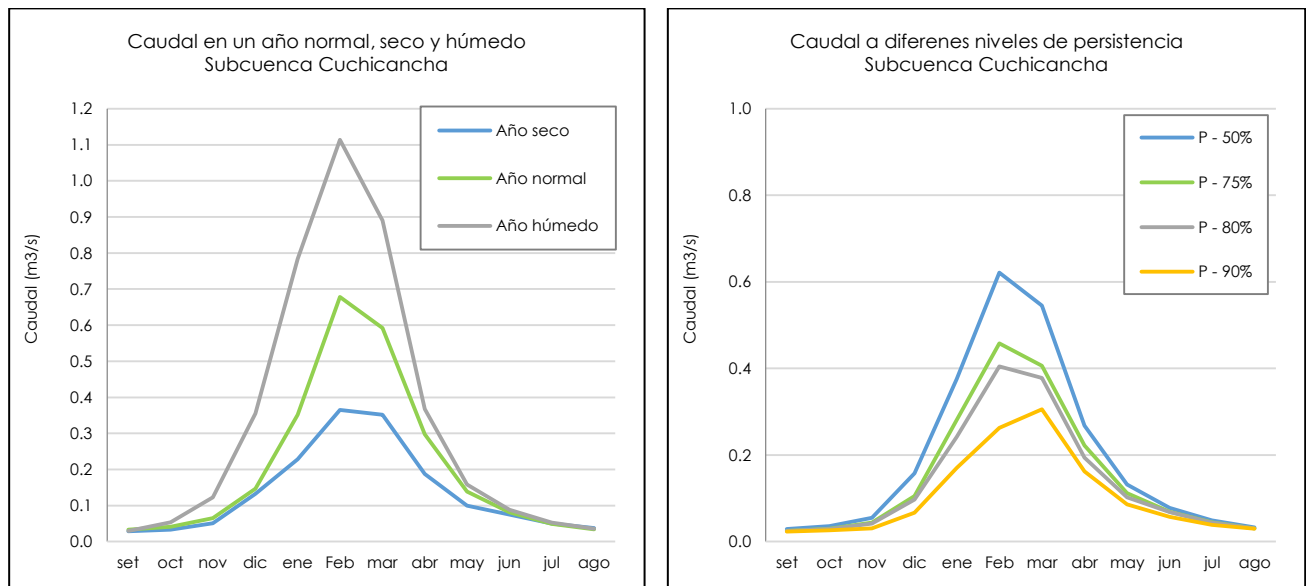
Parámetro	PARAMETROS ESTADISTICOS DE CAUDAL												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
Promedio	0.031	0.043	0.078	0.204	0.442	0.714	0.609	0.286	0.133	0.081	0.050	0.036	0.226
Mediana	0.029	0.036	0.055	0.158	0.376	0.621	0.545	0.268	0.132	0.078	0.049	0.033	0.211
DS	0.009	0.033	0.089	0.180	0.296	0.424	0.452	0.127	0.041	0.023	0.012	0.008	0.098
CV	0.299	0.770	1.150	0.881	0.669	0.594	0.742	0.444	0.305	0.280	0.228	0.217	0.434
Máx	0.057	0.216	0.525	0.803	1.199	2.118	2.765	0.726	0.256	0.167	0.094	0.067	0.541
Min	0.019	0.022	0.020	0.026	0.057	0.103	0.157	0.097	0.062	0.046	0.031	0.024	0.068

**Tabla 7-22 Caudales característicos en año normal, año seco y año húmedo subcuenca Cuchicancha**

AÑO	CAUDAL PROMEDIO EN AÑOS SECOS , NORMALES Y HUMEDOS (m <sup>3</sup> /s)												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
SECO	0.029	0.033	0.051	0.133	0.228	0.365	0.352	0.188	0.100	0.075	0.050	0.038	0.137
NORMAL	0.033	0.041	0.065	0.147	0.352	0.678	0.592	0.298	0.139	0.081	0.049	0.034	0.209
HUMEDO	0.030	0.054	0.123	0.355	0.784	1.114	0.890	0.368	0.158	0.088	0.053	0.036	0.338

**Tabla 7-23 Caudales característicos para diferente persistencia mensual subcuenca Cuchicancha**

Persistencia	PERSISTENCIA DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL (m <sup>3</sup> /s)												
	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	ANUAL
P - 50%	0.029	0.036	0.055	0.158	0.376	0.621	0.545	0.268	0.132	0.078	0.049	0.033	0.211
P - 75%	0.025	0.030	0.044	0.105	0.281	0.458	0.406	0.222	0.112	0.069	0.045	0.031	0.169
P - 80%	0.025	0.029	0.042	0.097	0.242	0.405	0.378	0.194	0.102	0.068	0.044	0.031	0.163
P - 90%	0.023	0.026	0.031	0.067	0.170	0.263	0.306	0.162	0.086	0.057	0.039	0.030	0.131



**Figura 7-23 Hidrograma de caudales medios mensuales generados en la subcuenca Cuchicancha**

## **CAPÍTULO VII**

### **ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS**

## 8 ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS

### 8.1 Evaluación de eventos de sequía

La sequía es uno de los peligros naturales más complejos, y puede considerarse como la carencia de agua suficiente para cumplir necesidades esenciales.

El SENAMHI en el marco de proveer productos y servicios hidrológicos, cuenta con una base de datos del índice Estandarizado de Sequía (SPI) a diferentes escalas temporales. Este índice se basa en relacionar los datos de precipitación; es muy útil porque permite comparar entre diferentes áreas geográficas y climatológicas. Cabe mencionar que hay muchos índices para evaluar la sequía como el índice porcentaje de la norma (IPN), deciles, índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI), entre otros, cada uno tiene ventajas y desventajas.

El índice estandarizado de la precipitación, fue diseñado por McKee et al 1993, para cuantificar el déficit de precipitación para escalas múltiples de tiempo. Estas escalas de tiempo reflejan el impacto de la sequía sobre la disponibilidad de las diversas fuentes de recursos hídricos. Los episodios de sequía tienen lugar siempre que el SPI sea continuamente negativo y alcance una intensidad de -1,0 o inferior. El episodio finaliza cuando el SPI alcanza valores positivos. La categoría de sequía según el SPI se presenta en la Tabla 8-1.

**Tabla 8-1 Clasificación de sequía según SPI**

Tipo de Sequía	SPI
Sequía extrema	$SPI \leq -2$
Sequía severa	$-2 < SPI \leq -1.5$
Sequía moderada	$-1.5 < SPI \leq -1.0$
Sequía leve	$-1 < SPI \leq 0$
No sequía	$-0.5 < SPI \leq 0.5$
Humedad leve	$0 < SPI \leq 1.0$
Humedad moderada	$1.0 < SPI \leq 1.5$
Humedad severa	$1.5 < SPI \leq 2.0$
Humedad Extrema	$SPI > 2$

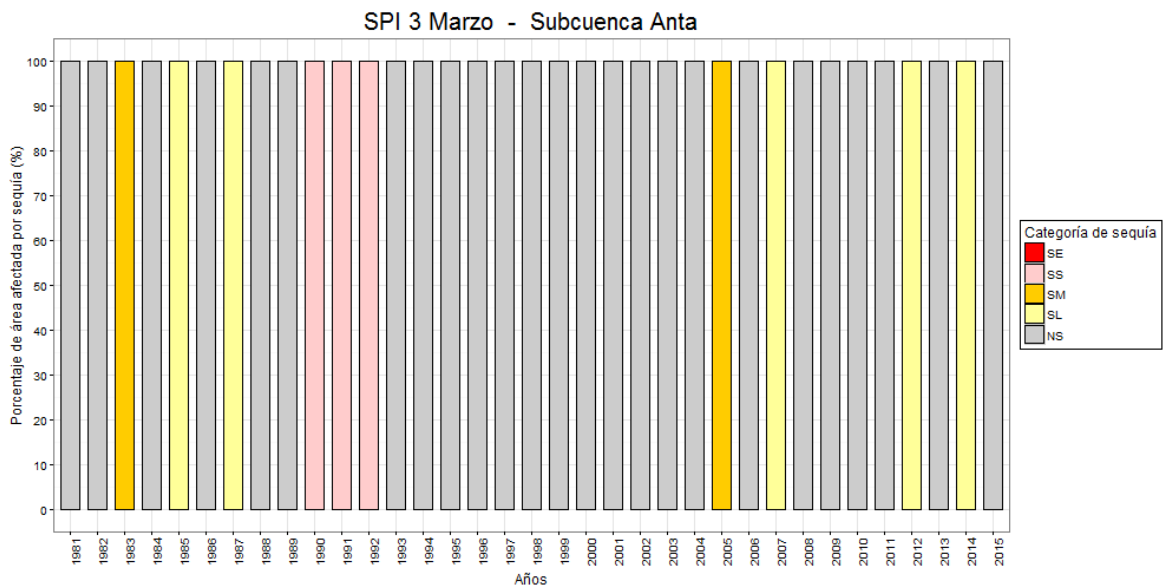
Este índice permite realizar el monitoreo y vigilancia de escala nacional, basado en la base de datos grillado de 5 km de resolución se ha analizado la recurrencia de sequias en el periodo 1981-2015; en las siete subcuencas emplazadas en los Distritos Santiago de Tucuma y Pampas.

#### 8.1.1 Sequias en la Subcuenca Anta

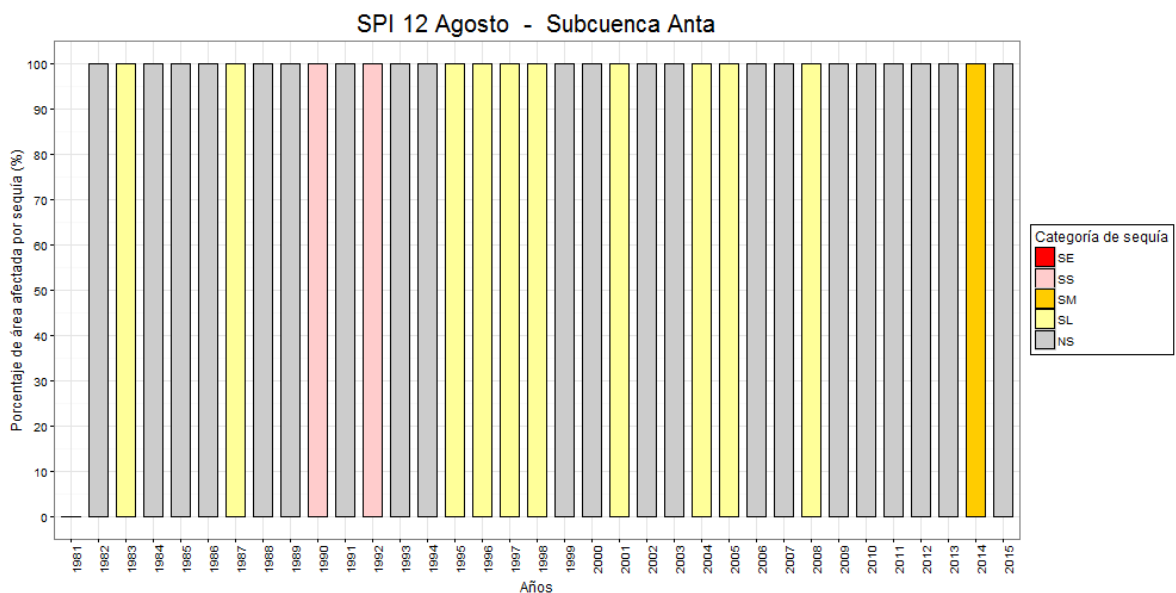
En la subcuenca Anta, durante el periodo 1981-2015 ha presentado sequias leves a severas basados en el análisis del trimestre EFM según el SPI 3 y ciclo anual según SPI 12, ver Figura 8-1 y 8-2. El evento de mayor duración y de intensidad severa se presentó el año 1990 y 1992 afectó hasta en un 100% de la superficie de la subcuenca. Otros eventos de menor intensidad se presentaron en los años 1987, 2005 y 2014.

En las Figura 8-3 y 8-4 muestra las series de SPI 3 y SPI 12 en el periodo 1981-2015 para la subcuenca Anta respectivamente. En los últimos años (2010-2015) para el primero, se han presentado periodos con sequias leves a moderada y para el segundo no se aprecian sequias.

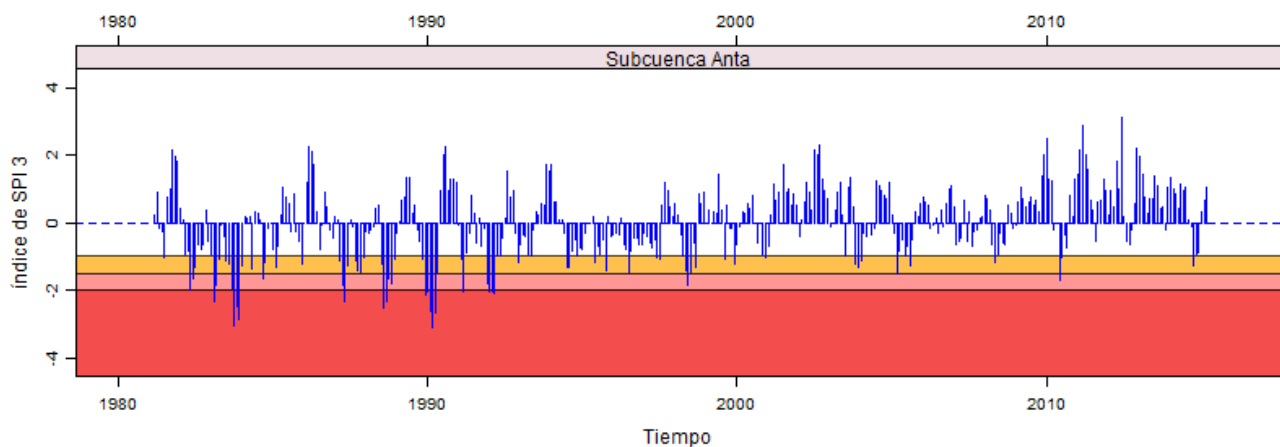




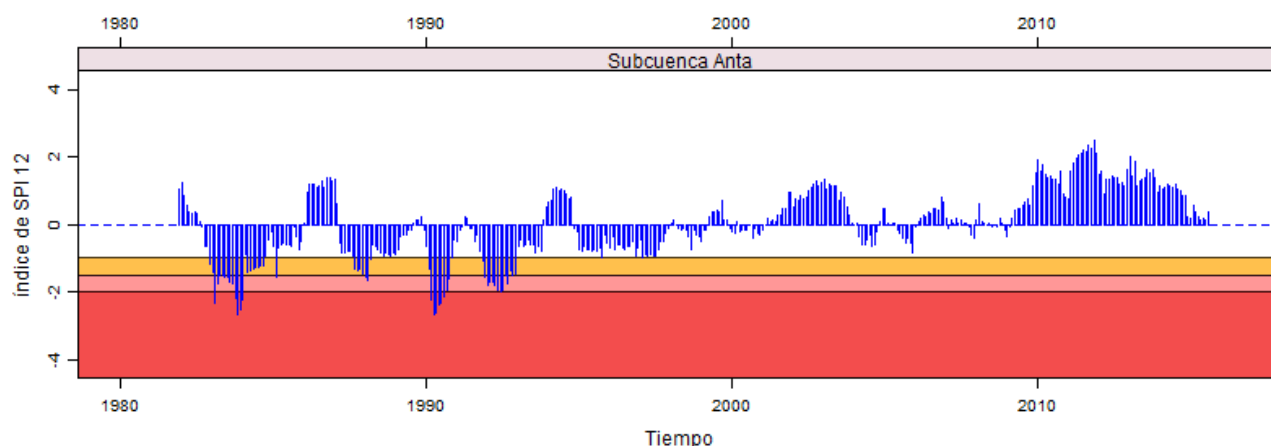
**Figura 8-1 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI3 en la Subcuenca Anta**



**Figura 8-2 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI12 en la Subcuenca Anta**



**Figura 8-3 Series de SPI3 en la Subcuenca Anta**

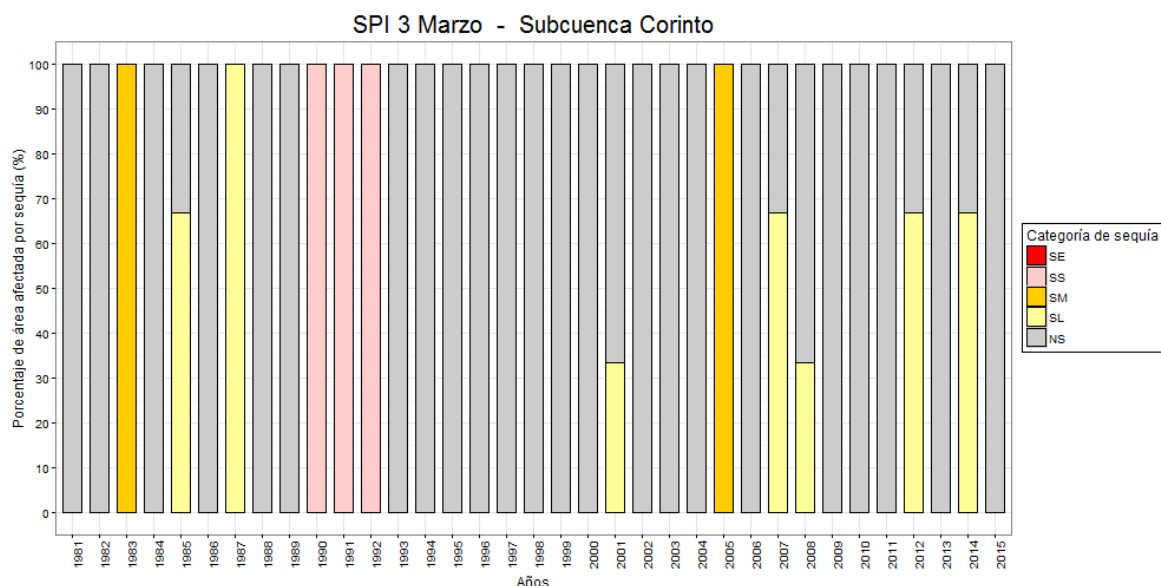


**Figura 8-4 Series de SPI12 en la Subcuenca Anta**

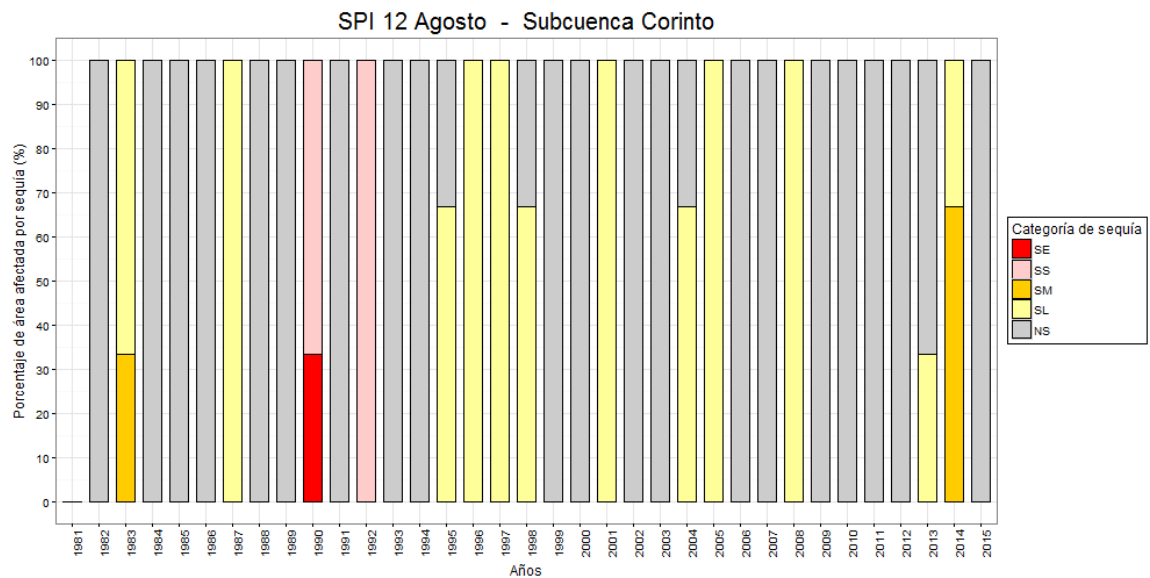
### 8.1.2 Sequias en la Subcuenca Corinto

En la subcuenca Corinto, durante el periodo 1981-2015 ha presentado sequias leves a extremas basados en el análisis del trimestre EFM según el SPI 3 y ciclo anual según SPI 12 ver Figura 8-5 y 8-6. El evento de mayor duración se presentó el año 1990 y 1992. La intensidad extrema abarcó hasta en un 30% de la superficie de la subcuenca y de intensidad severa en un 70%. Otros eventos de menor intensidad y duración se presentaron en los años 1983, 1987, 2001, 2007 y 2014.

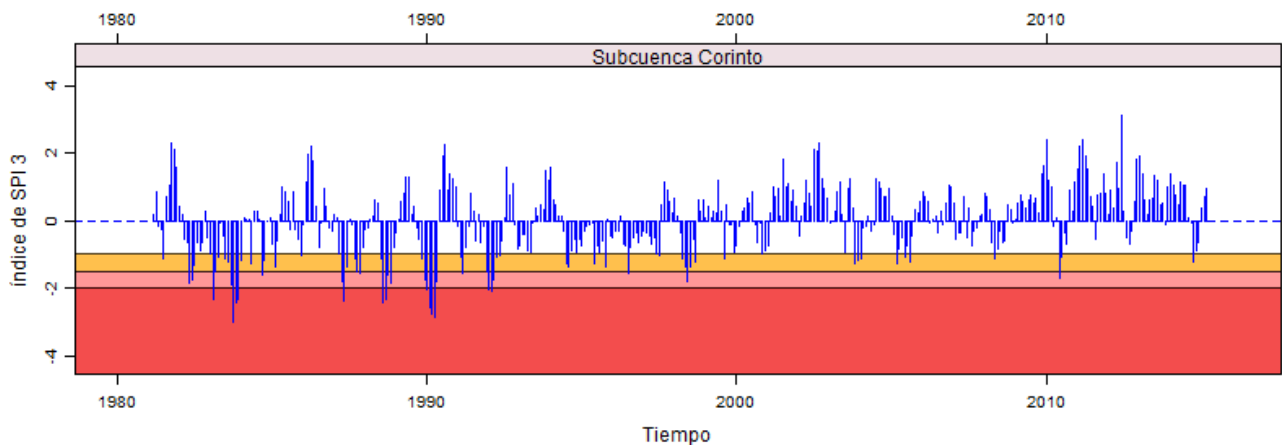
En las Figura 8-7 y 8-8 muestra las series de SPI 3 y SPI 12 en el periodo 1981-2015 para la subcuenca Corinto respectivamente. En los últimos años (2010-2015) para el primero, se han presentado periodos con sequias leves a moderada y para el segundo no se aprecian sequias.



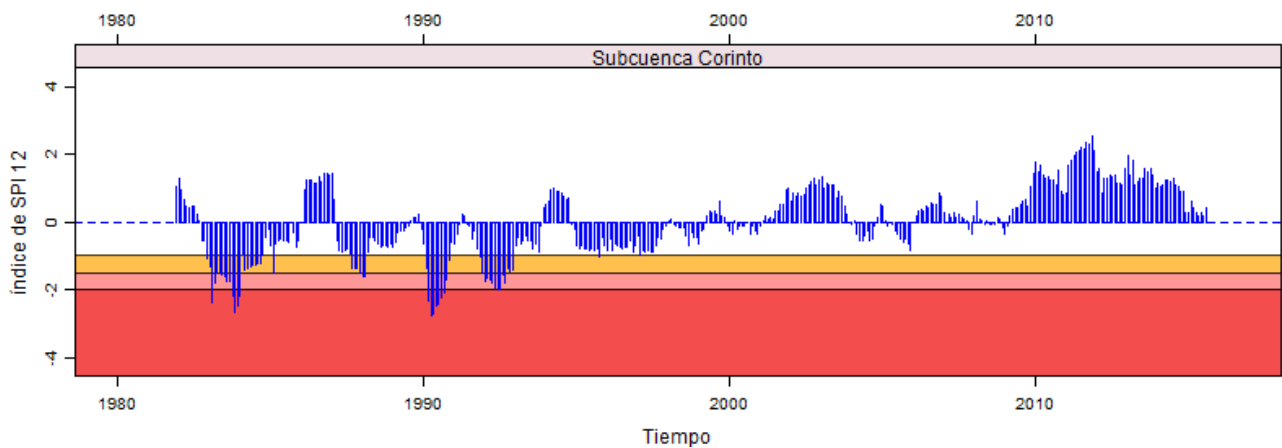
**Figura 8-5 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI3 en la Subcuenca Corinto**



**Figura 8-6 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI12 en la Subcuenca Corinto**



**Figura 8-7 Series de SPI3 en la Subcuenca Corinto**



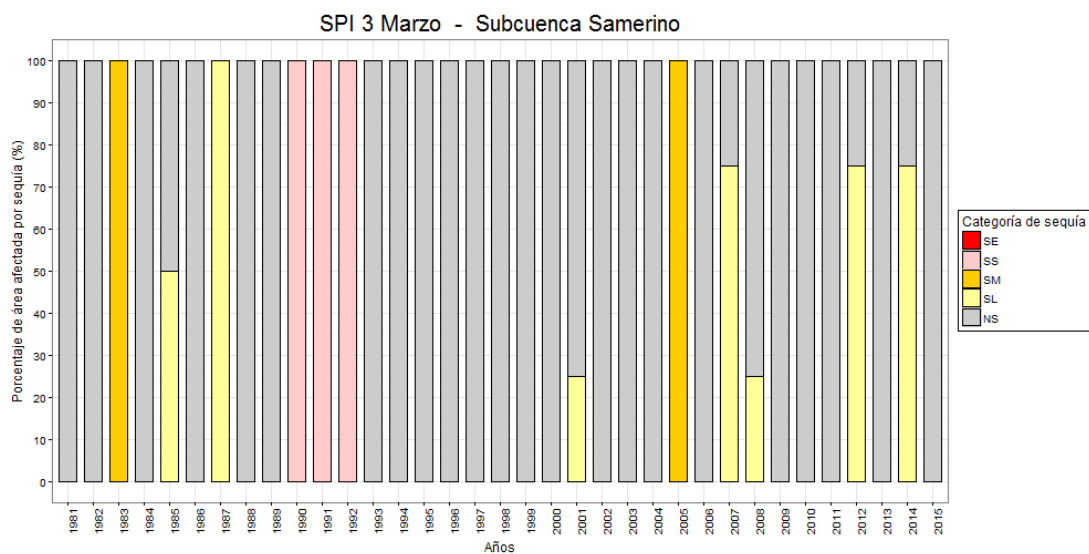
**Figura 8-8 Series de SPI12 en la Subcuenca Corinto**

### 8.1.3 Sequías en la Subcuenca Samerino

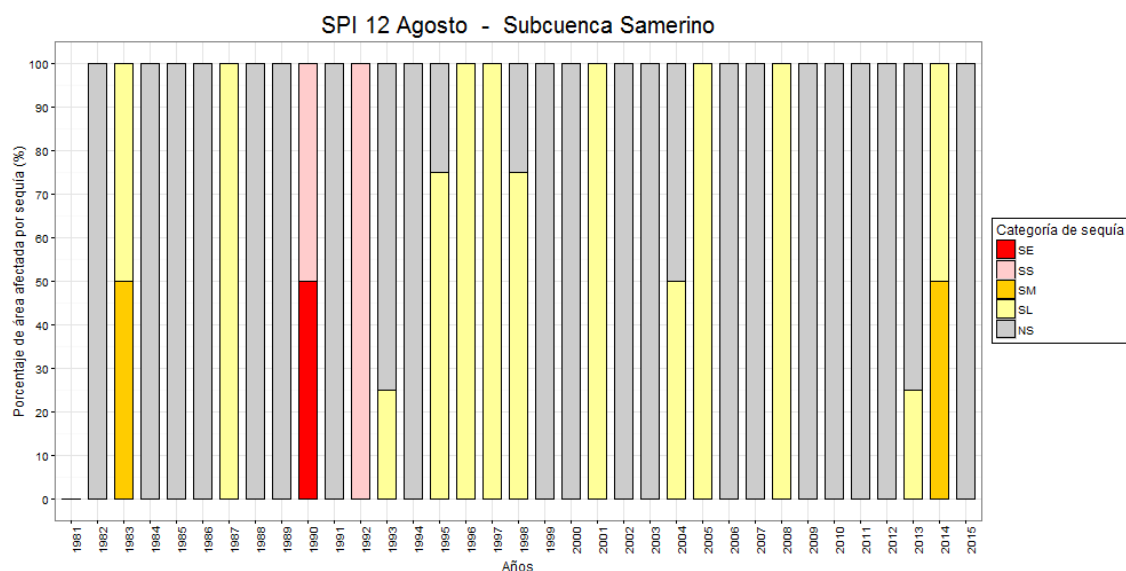
En la subcuenca Samerino, durante el periodo 1981-2015 ha presentado sequías leves a extremas basados en el análisis del trimestre EFM según el SPI 3 y ciclo anual según SPI 12 ver Figura 8-9 y 8-10. El evento de mayor duración se presentó el año 1990 y 1992.

La intensidad extrema abarcó hasta en un 50% de la superficie de la subcuenca y de intensidad severa también en un 50% de la superficie de la subcuenca. Otros eventos de menor intensidad y duración se presentaron en los años 1983, 1987, 2001, 2008 y 2014.

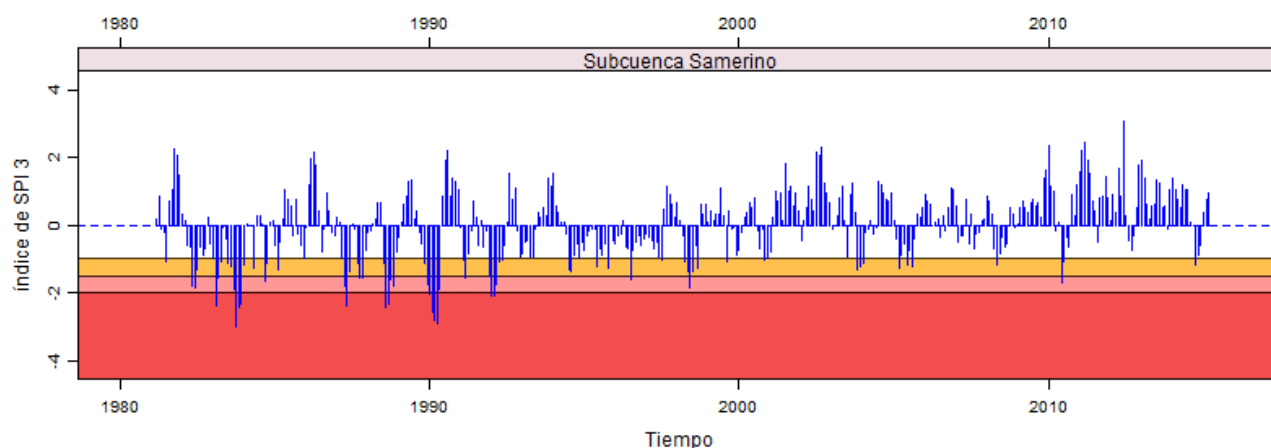
En las Figura 8-11 y 8-12 muestra las series de SPI 3 y SPI 12 en el periodo 1981-2015 para la subcuenca Samerino respectivamente. En los últimos años (2010-2015) para el primero, se han presentado periodos con sequías moderada y para el segundo no se aprecian sequías.



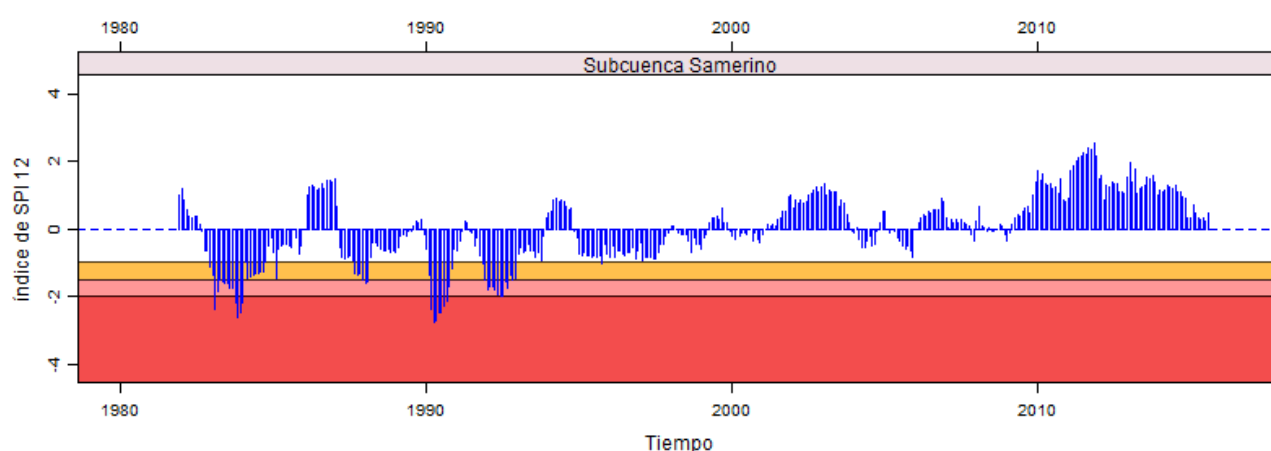
**Figura 8-9 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI3 en la Subcuenca Samerino**



**Figura 8-10 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI12 en la Subcuenca Samerino**



**Figura 8-11 Series de SPI3 en la Subcuenca Samerino**



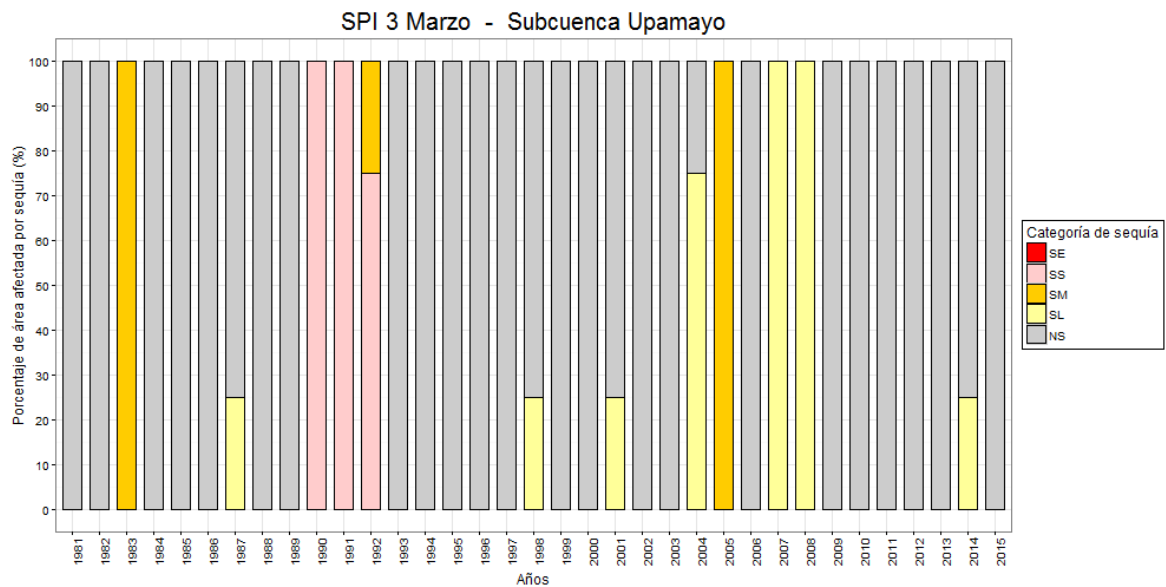
**Figura 8-12 Series de SPI12 en la Subcuenca Samerino**

#### 8.1.4 Sequias en la Subcuenca Upamayo

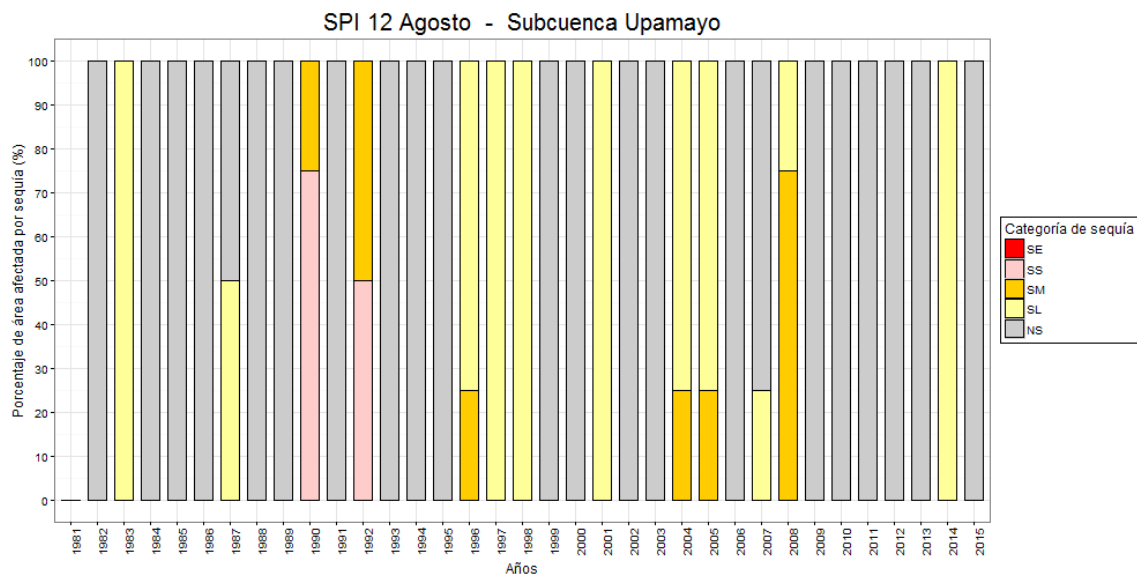
En la subcuenca Upamayo, durante el periodo 1981-2015 ha presentado sequias leves a severas basados en el análisis del trimestre EFM según el SPI 3 y ciclo anual según SPI 12 ver Figura 8-13 y 8-14. El evento de mayor duración se presentó el año 1990 y 1992.

Otros eventos de menor intensidad y duración se presentaron en los años 1983, 1998, 2001, 2004, 2005, 2007, 2008 y 2014. En relación a la última década se han presentado tendencias a sequias moderadas a leves, y en el mayor de los casos no hay sequías.

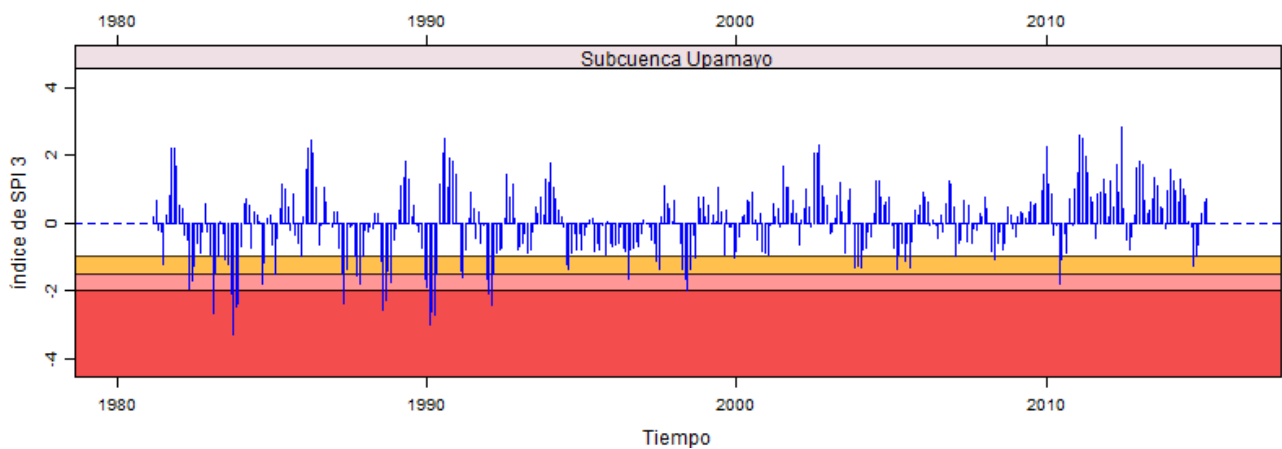
En las Figura 8-15 y 8-16 muestra las series de SPI 3 y SPI 12 en el periodo 1981-2015 para la subcuenca Upamayo respectivamente. En los últimos años (2010-2015) para el primero, se han presentado periodos con sequias severa y moderada; y para el segundo no se aprecian sequias.



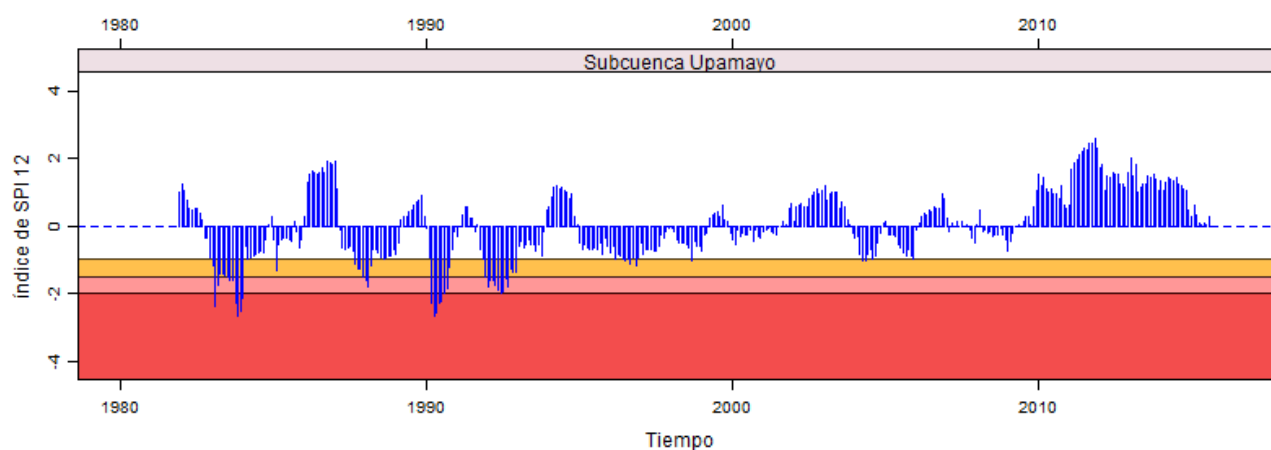
**Figura 8-13 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI3 en la Subcuenca Upamayo**



**Figura 8-14 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI12 en la Subcuenca Upamayo**



**Figura 8-15 Series de SPI3 en la Subcuenca Upamayo**

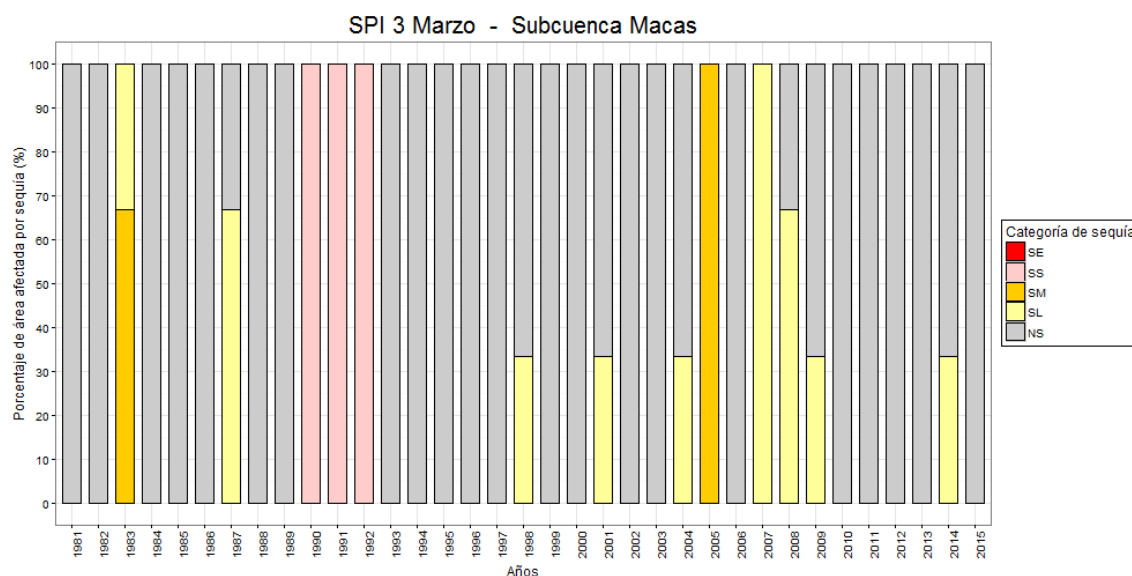


**Figura 8-16 Series de SPI12 en la Subcuenca Upamayo**

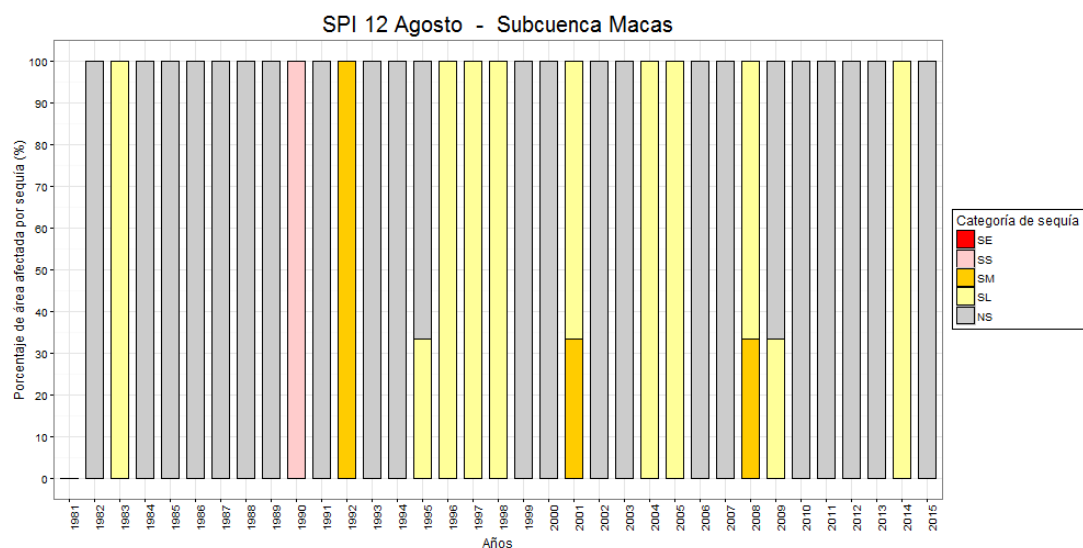
### 8.1.5 Sequías en la Subcuenca Macas

En la subcuenca Macas, durante el periodo 1981-2015 ha presentado sequías leves a severas basados en el análisis del trimestre EFM según el SPI 3 y ciclo anual según SPI 12 ver Figura 8-17 y 8-18. El evento de mayor duración se presentó el año 1990 y 1992. Otros eventos de menor intensidad y duración se presentaron en los años 1983, 1998, 2001, 2004, 2005, 2008, 2009 y 2014. En relación a la última década (2005-2015) se han presentado tendencias a sequías moderadas a leves, y en el mayor de los casos no hay sequías.

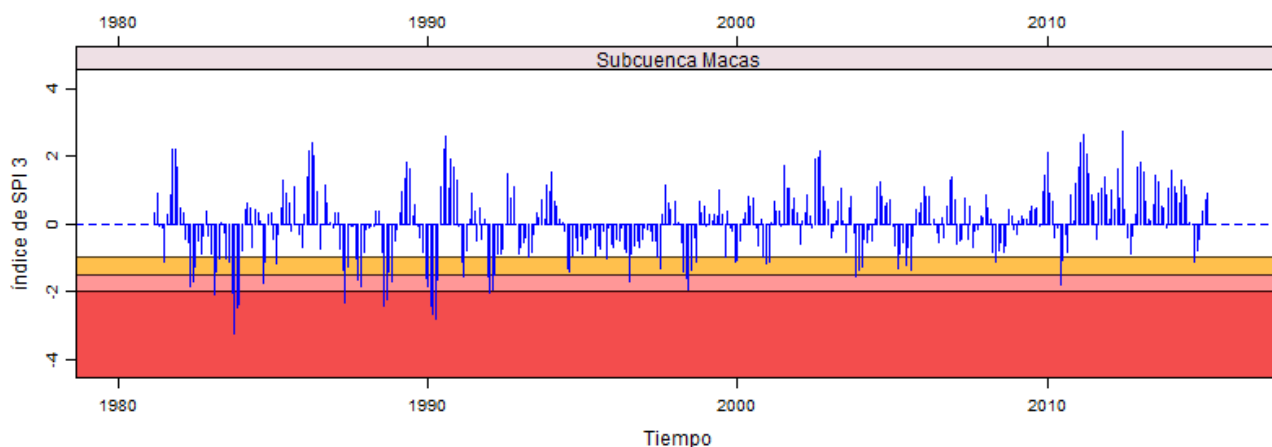
En las Figura 8-19 y 8-20 muestra las series de SPI 3 y SPI 12 en el periodo 1981-2015 para la subcuenca Macas respectivamente. En los últimos años (2010-2015) para el primero, se han presentado periodos con sequías severa y moderada; y para el segundo no se aprecian sequías.



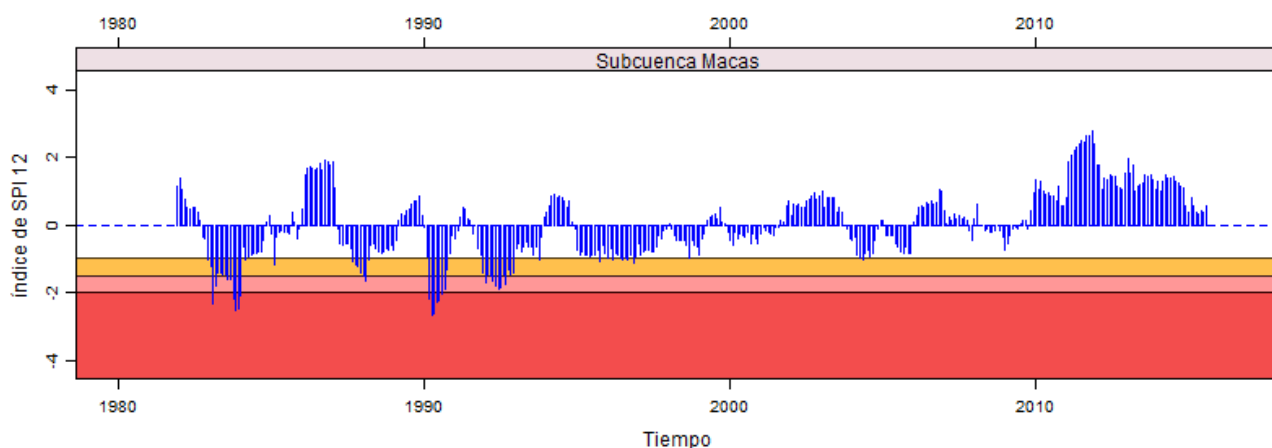
**Figura 8-17 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI3 en la Subcuenca Macas**



**Figura 8-18 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI12 en la Subcuenca Macas**



**Figura 8-19 Series de SPI3 en la Subcuenca Macas**



**Figura 8-20 Series de SPI12 en la Subcuenca Macas**

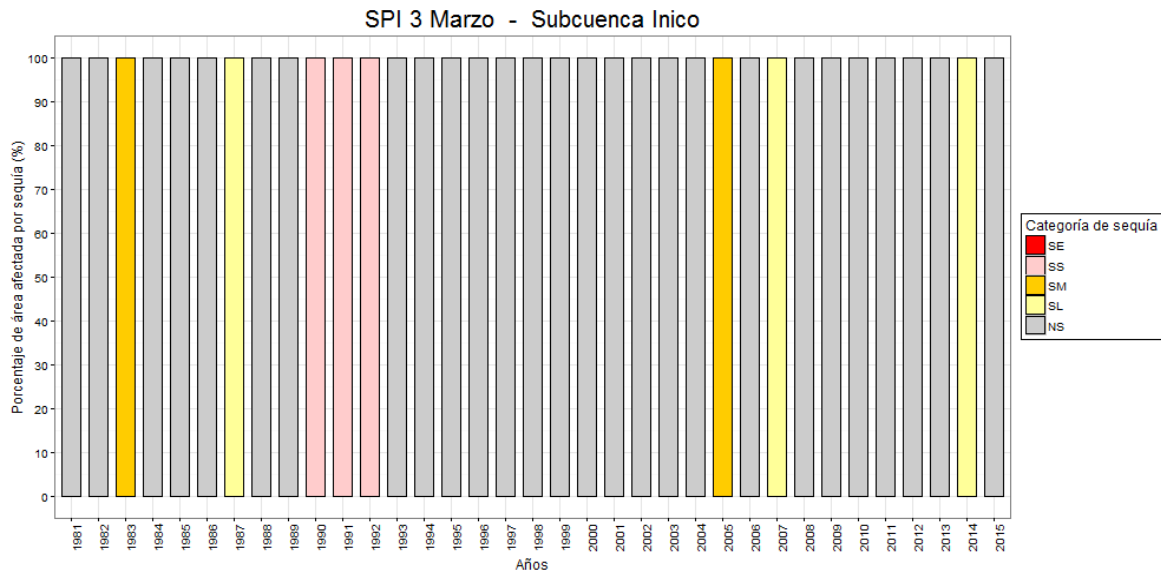
### 8.1.6 Sequias en la Subcuenca Inico

En la subcuenca Macas, durante el periodo 1981-2015 ha presentado sequias leves a severas basados en el análisis del trimestre EFM según el SPI 3 y ciclo anual según SPI 12 ver Figura 8-21 y 8-22. El evento de mayor duración se presentó el año 1990 y 1992. Otros eventos de menor intensidad y duración se presentaron en los años 1983, 2005 y 2014.

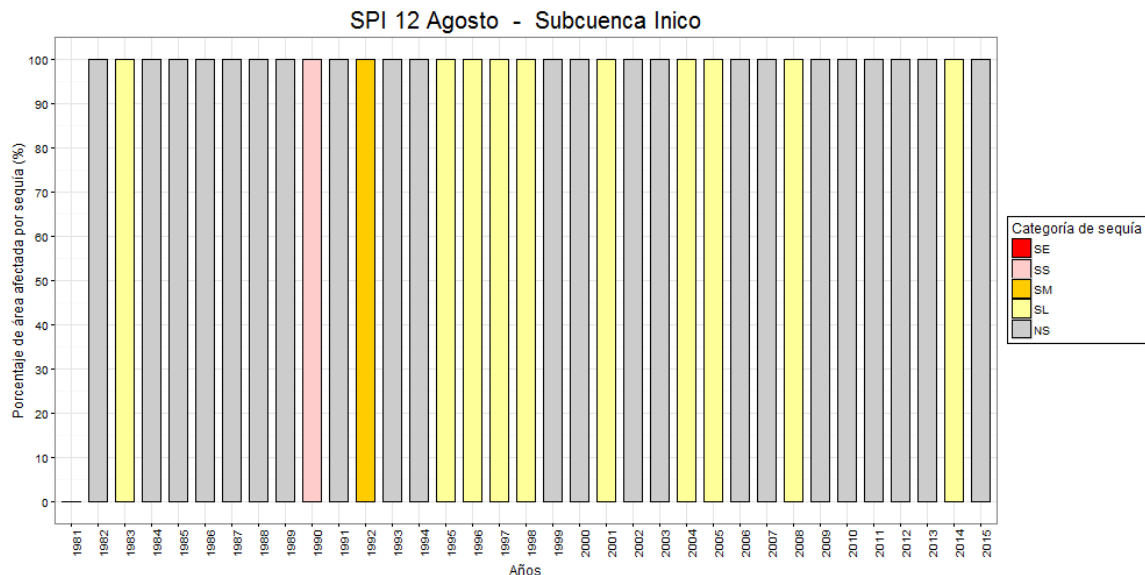


En relación a la última década (2005-2015) se han presentado tendencias a sequías moderadas a leves, y en el mayor de los casos no hay sequías.

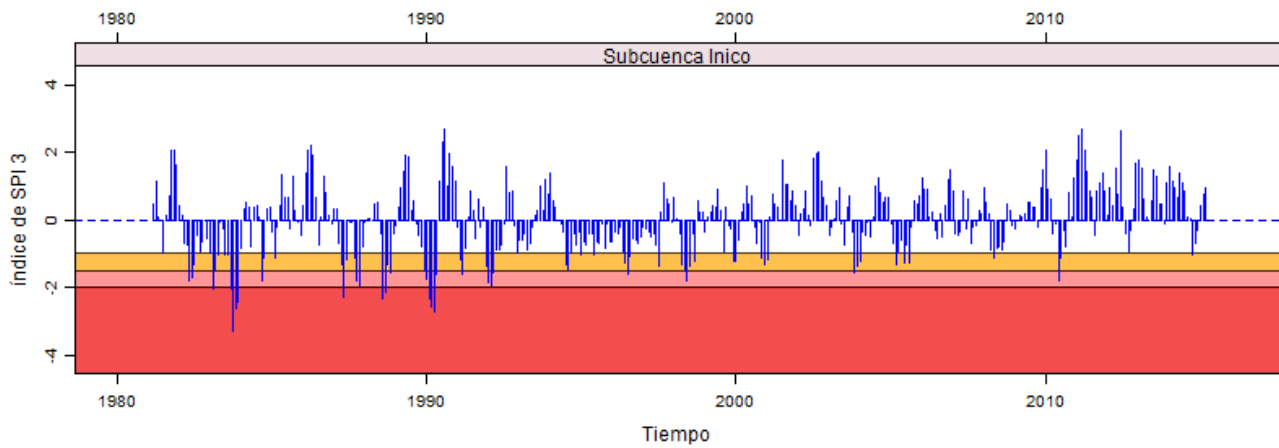
En las Figura 8-23 y 8-24 muestra las series de SPI 3 y SPI 12 en el periodo 1981-2015 para la subcuenca Inico respectivamente. En los últimos años (2010-2015) para el primero, se han presentado periodos con sequías severa y moderada; y para el segundo no se aprecian sequías.



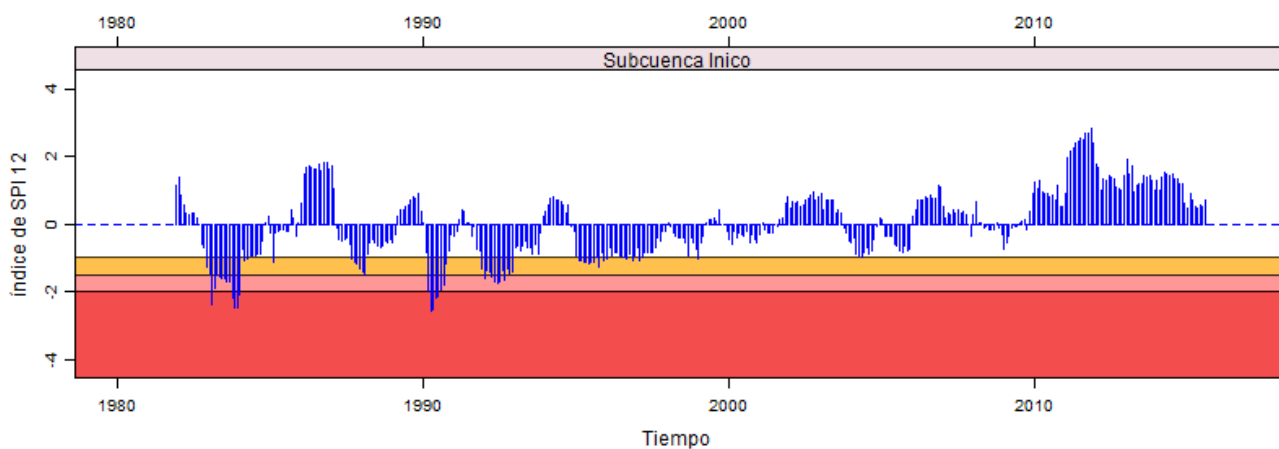
**Figura 8-21 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI3 en la Subcuenca Inico**



**Figura 8-22 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI12 en la Subcuenca Inico**



**Figura 8-23 Series de SPI3 en la Subcuenca Inico**

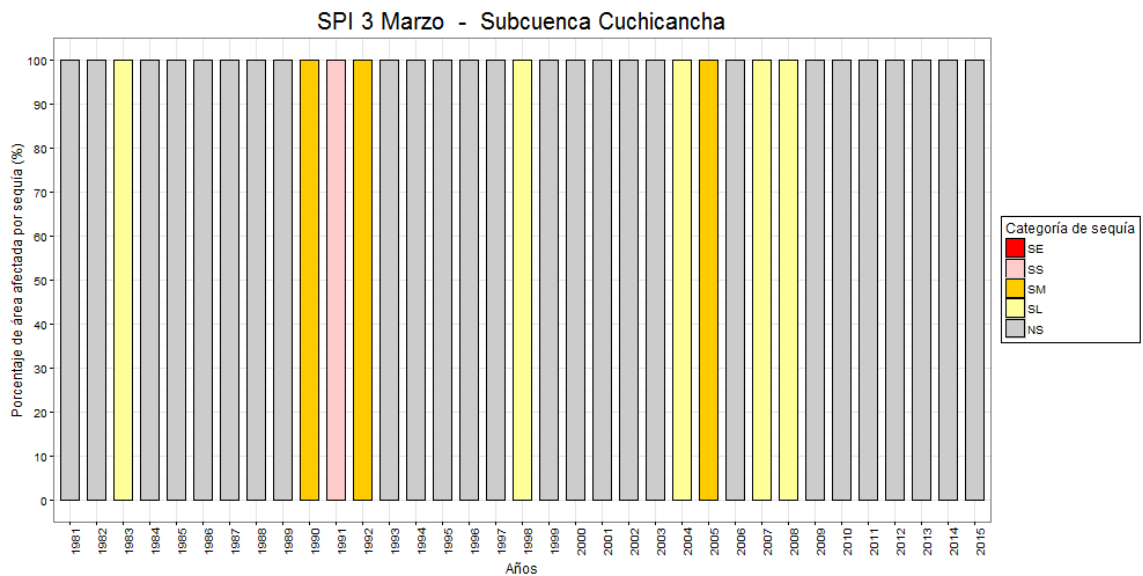


**Figura 8-24 Series de SPI12 en la Subcuenca Inico**

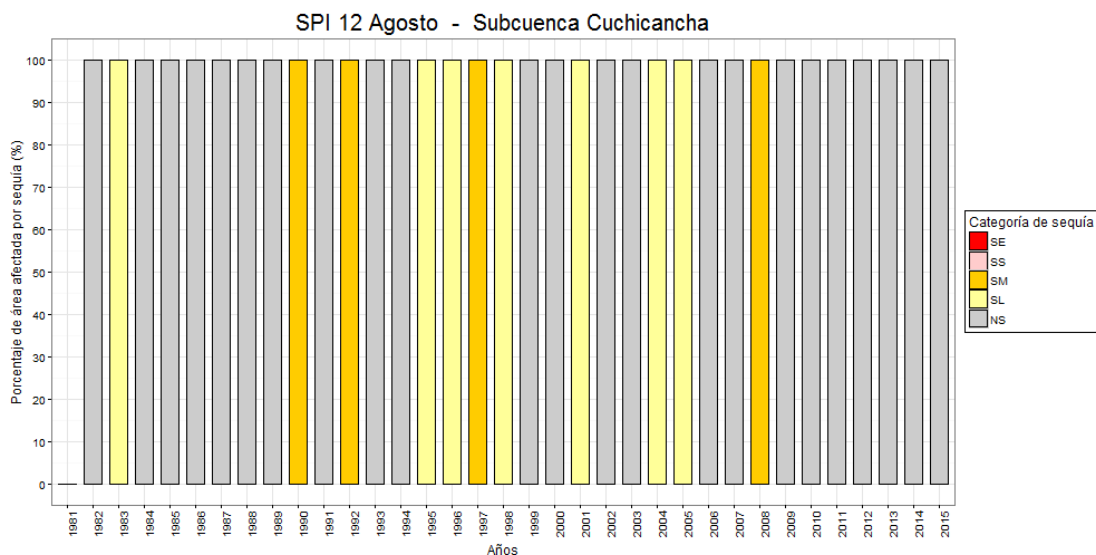
#### 8.1.7 Sequias en la Subcuenca Cuchicancha

En la subcuenca Cuchicancha, durante el periodo 1981-2015 ha presentado sequias leves a severas basados en el análisis del trimestre EFM según el SPI 3 y ciclo anual según SPI 12 ver Figura 8-25 y 8-26. El evento de mayor duración se presentó el año 1990 y 1992. Otros eventos de menor intensidad y duración se presentaron en los años 1983, 1998, 2004 y 2008. En relación a la última década (2005-2015) se han presentado tendencias a sequias moderadas a leves, y en el mayor de los casos no hay sequías.

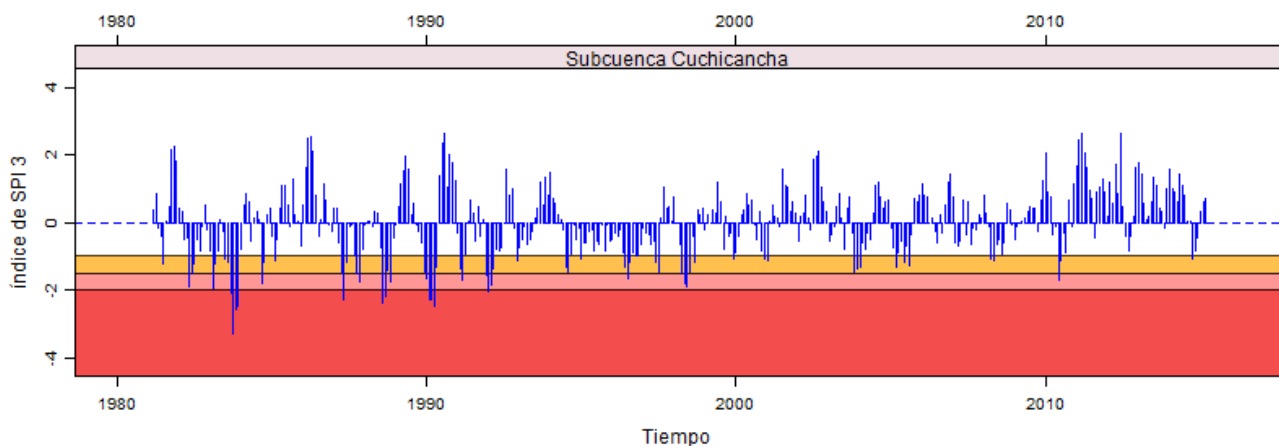
En las Figuras 8-27 y 8-28 muestra las series de SPI 3 y SPI 12 en el periodo 1981-2015 para la subcuenca Cuchicancha respectivamente. En los últimos años (2010-2015) para el primero, se han presentado periodos con sequias severa y moderada; y para el segundo no se aprecian sequias.



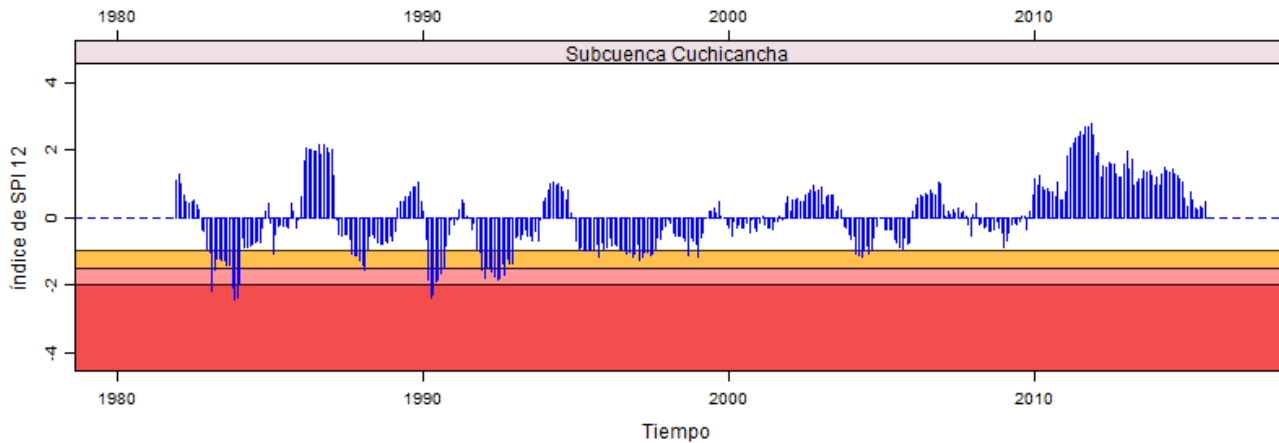
**Figura 8-25 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI3 en la Subcuenca Cuchicancha**



**Figura 8-26 Porcentaje de área afectada por sequía considerando SPI12 en la Subcuenca Cuchicancha**



**Figura 8-27 Series de SPI03 en la Subcuenca Cuchicancha**



**Figura 8-28 Series de SPI12 en la Subcuenca Cuchicancha**

## 8.2 Áreas potenciales a inundación

Las áreas potenciales a inundación han sido calculadas basadas en el índice de inundación propuesto por Uribe-Alcantara, 2010; principalmente porque desafortunadamente, los registros históricos de inundación son prácticamente inexistentes en el área de interés. Por tanto, los análisis de riesgo generalmente se basan en métodos indirectos. El índice propuesto está basado en el índice topográfico propuesto por Beven y Kibky (1979) que adicionalmente considera factores edafológicos, hidrológicos y climatológicos.

El índice topográfico es definido como el cociente entre acumulación de escurrimiento (área de drenaje parcial “aguas arriba” para un punto en particular) y la tangente de la pendiente. El primero es estimado a partir del tipo y uso de suelo, y la precipitación observada según el método de número de curva; de manera que es posible estimar la cantidad total de agua que escurre por un punto dado, así como su probabilidad de ocurrencia. El segundo, calcula la pendiente a partir del modelo de elevación del terreno.

$$Ii = \ln\left(\frac{Ac Q}{\tan s}\right)$$

Donde:

- Ii : Índice de inundación
- Ac Q : Acumulación de escurrimiento
- S : Pendiente

Su aplicación principal consiste en la identificación de humedales definidos como zonas perennes o efímeras saturadas o inundadas. Debido a que la distribución probabilística del índice topográfico es bimodal para una cuenca, y los valores altos del índice corresponden a regiones propensas a inundación, el índice constituye un elemento poderoso y simple para la determinación de dichas regiones.

La Figura 8-29 indica que el índice captura razonablemente bien las zonas perenes a inundaciones (área color gris) emplazada en la subcuenca Upamayo.

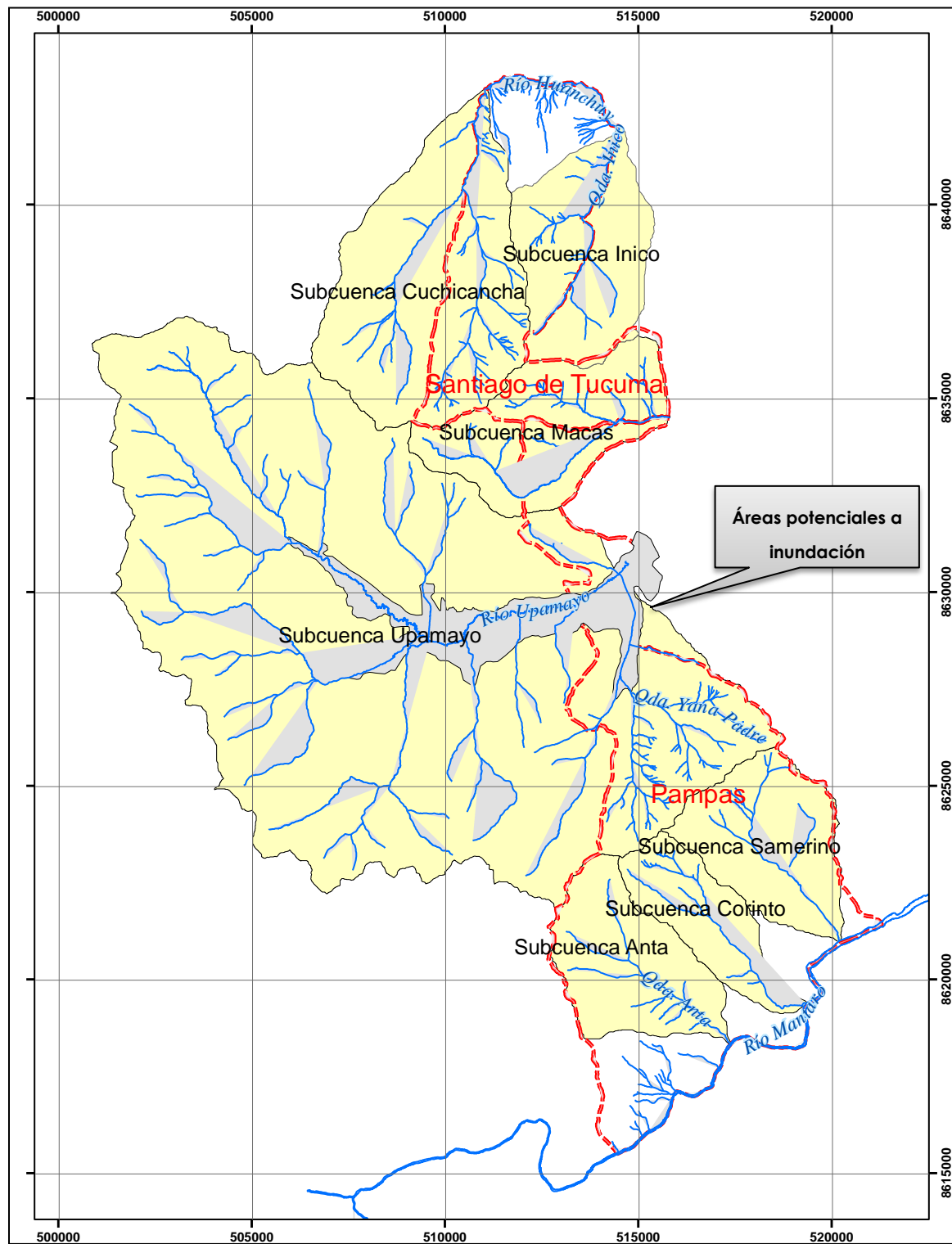


Figura 8-29 Áreas potenciales a inundación

## **CAPÍTULO IX**

### **EROSIÓN HÍDRICA**

## 9 EROSIÓN HÍDRICA

### 9.1 Marco teórico

La erosión, es entendida como la remoción, transporte y deposición de partículas de suelo, materia orgánica y nutriente soluble. Se presenta con diversos grados de intensidad, llegando muchas veces hasta condiciones tales, que no es posible restaurarlas, provocando en consecuencia el desequilibrio de la estabilidad armónica de las cuencas hidrográficas. De acuerdo a las fuerzas que actúan y tiempos de ocurrencia, la erosión de suelos se define en dos tipos:

- Erosión Natural o Geológica: Es aquella que ocurre como consecuencia solamente de las fuerzas de la Naturaleza y cuyas tasas de ocurrencia son generalmente bajas.
- Erosión Acelerada o Inducida: Es aquella en la que se agrega la acción del hombre a la acción de los agentes naturales. Este tipo de erosión es propiciado por el mal manejo del suelo.

Los principales agentes que intervienen en el proceso de la erosión son: el agua y el viento. Cuando el agente causal es el agua, la erosión se denomina hídrica, mientras que cuando el agente causal es el viento, se denomina eólica. Existen otros agentes causantes de la erosión que en menor escala y extensión causan movimiento del suelo, tales como gravedad, la maquinaria, y algunos procesos biológicos. En cualquier caso, la erosión hídrica es la de mayor importancia en el Perú, debido a que en gran parte del país nuestra actividad económica se desarrolla en sector agrario.

La estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica, ha sido estimada basado en la ecuación universal de pérdida de suelo, Modelo USLE (1962) y publicada en forma definitiva (Wischmeier & Smith, 1978), la cual tiene su versión modificada RUSLE, esta última ecuación ha permitido estimar las pérdidas de suelo anual a escala nacional, por SENAMHI, 2016.

La ecuación utilizada (Renard et al., 1997) es la siguiente:

$$A = R * k * LS * C * P$$

Donde

A: es el cálculo del promedio espacial y temporal de la pérdida de suelo por unidad de área ( $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ), expresadas en las unidades seleccionadas para el factor K y para el periodo seleccionado del factor R.

R: es el factor de erosividad ( $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ) de lluvia.

K: factor de erodabilidad ( $\text{ton} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) del suelo, es la tasa de pérdida de suelo por unidad del índice de erosión para un suelo determinado expresados en

Los demás factores son relacionados a estándares y no tienen dimensiones:

L S: el factor L de longitud de pendiente, el cual nos da la proporción de pérdida de suelo de la longitud de pendiente de la zona de estudio y el factor S que nos dice que tan escarpado se encuentra la pendiente, mide la relación de pérdida de suelo de la inclinación de la pendiente en la zona de estudio. En la ecuación se considera el factor LS como el factor topográfico que resulta de la multiplicación de los factores de L y S (Pan & Wen, 2014)

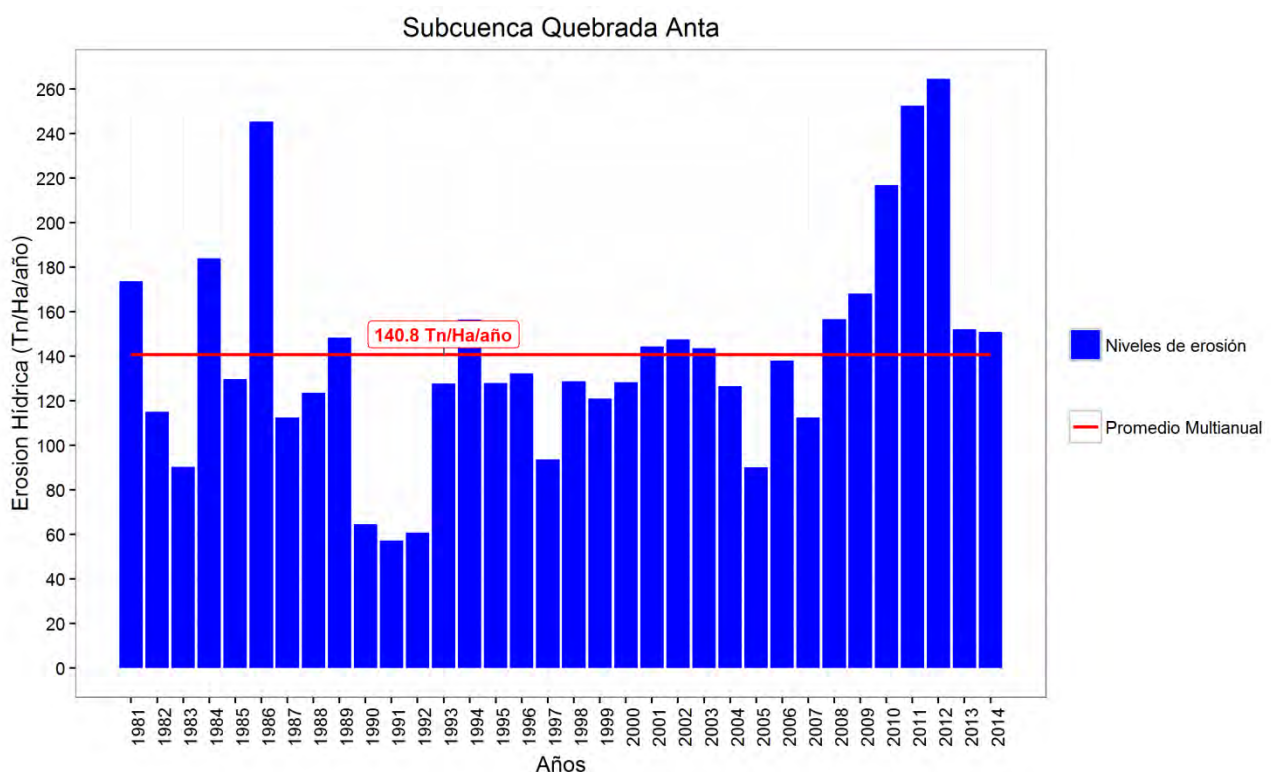
C: el factor de cobertura vegetal de las relaciones de la pérdida de suelo de un área con cobertura y la gestión de pérdida de suelo específico.

P: el factor de prácticas de conservación o prácticas de apoyo de la pérdida de suelo con una práctica de apoyo, como el de contorno o pérdida de suelo de terrazas.

En este contexto, se presenta los resultados de la pérdida del suelo por erosión hídrica en las siete subcuencas del cual está comprendido el distrito de Pampas y Santiago de Tucuma en estudio, los mismos que han sido extraídos de la base nacional elaborado por SENAMHI.

### 9.1.1 Erosión hídrica en la Subcuenca Anta

La pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Anta, obtenida por el método del RUSLE, alcanza un valor promedio de 140.8 Tn/Ha/año en el periodo desde 1981 al 2014. La máxima erosión presentada se dio en 2012, con un valor de 264.5 Tn/Ha/año, el cual representa un incremento del 88% en relación al promedio. La mínima erosión tuvo presencia en 1991, con 57.4 Tn/Ha/año que representa una disminución del 60% en relación al promedio. Cantidad de erosiones altas también se produjeron en los años 1986 y 2011. La Figura 9-1 se muestra la evolución temporal de la perdida de suelo por erosión hídrica en el periodo 1981-2014 para la subcuenca Anta.



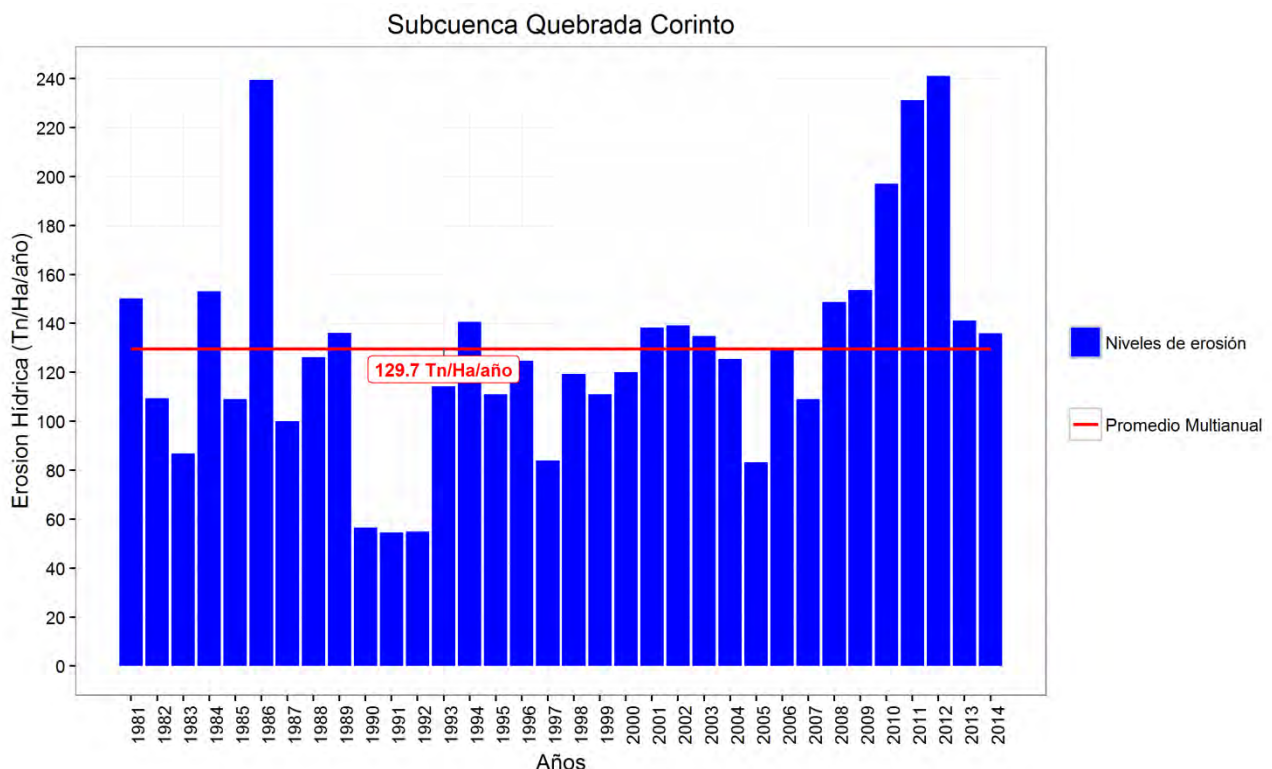
**Figura 9-1 Evolución temporal de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Anta**

### 9.1.2 Erosión hídrica en la Subcuenca Corinto

La pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Corinto, obtenida por el método del RUSLE, alcanza un valor promedio de 129.7 Tn/Ha/año en el periodo desde 1981 al 2014. La máxima erosión presentada se dio en 2012, con un valor de 241.1 Tn/Ha/año, el cual representa un incremento del 86% en relación al promedio.



La mínima erosión tuvo presencia en 1991, con 54.5 Tn/Ha/año que representa una disminución del 58% en relación al promedio. Cantidad de erosiones altas también se produjeron en los años 1986 y 2011. La Figura 9-2 se muestra la evolución temporal de la pérdida de suelo por erosión hídrica en el periodo 1981-2014 para la subcuenca Corinto.



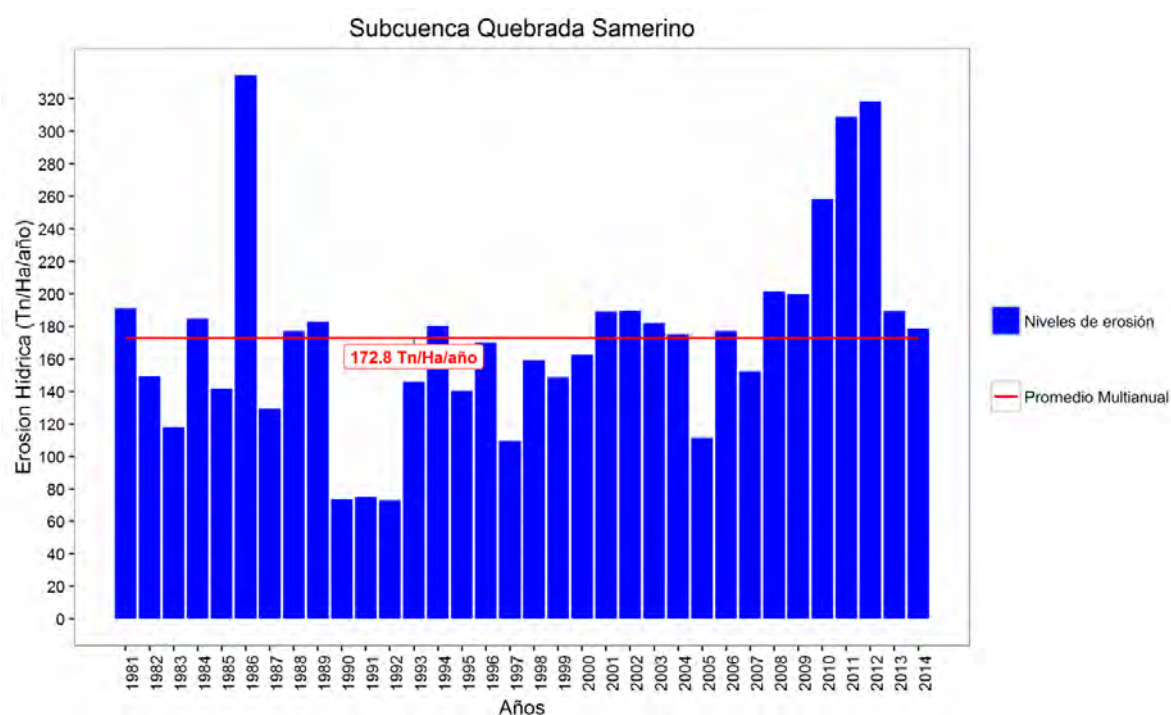
**Figura 9-2 Evolución temporal de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Corinto**

### 9.1.3 Erosión hídrica en la Subcuenca Samerino

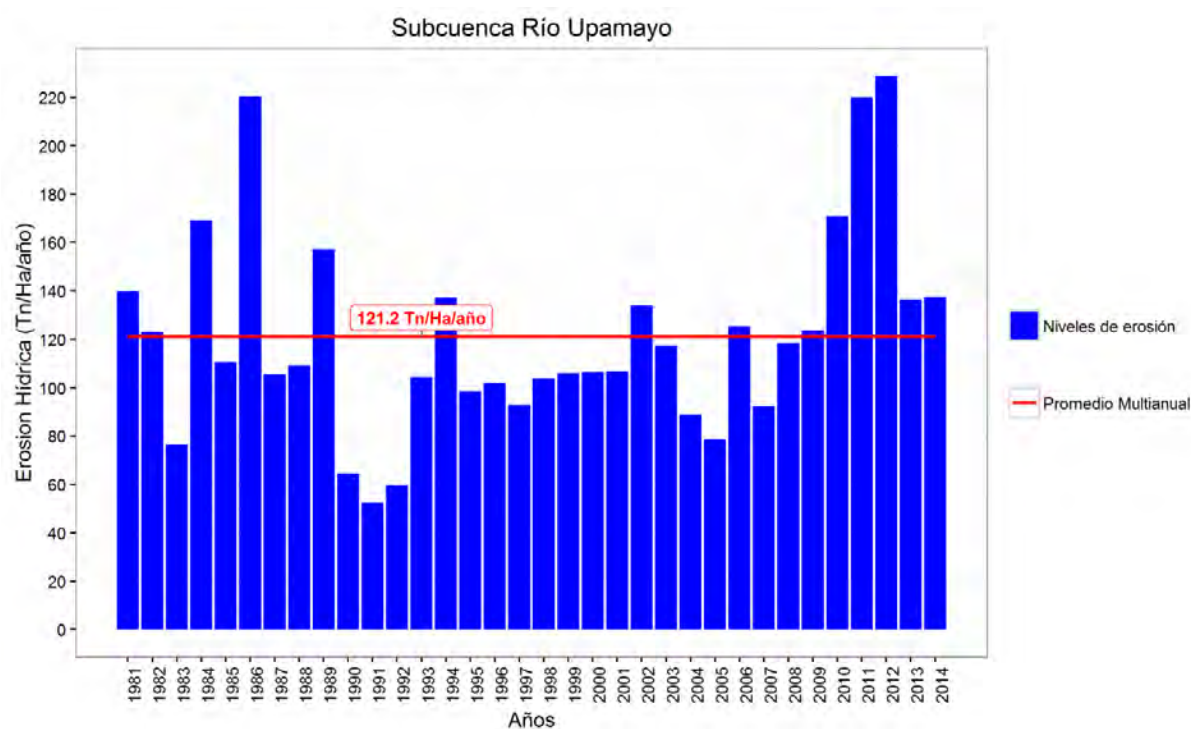
La pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Samerino, obtenida por el método del RUSLE, alcanza un valor promedio de 172.8 Tn/Ha/año en el periodo desde 1981 al 2014. La máxima erosión presentada se dio en 1986, con un valor de 334.1 Tn/Ha/año, el cual representa un incremento del 93% en relación al promedio. La mínima erosión tuvo presencia en 1992, con 72.9 Tn/Ha/año que representa una disminución del 58% en relación al promedio. Cantidad de erosiones altas también se produjeron en los años 1986 y 2011. La Figura 9-3 se muestra la evolución temporal de la pérdida de suelo por erosión hídrica en el periodo 1981-2014 para la subcuenca Samerino.

### 9.1.4 Erosión hídrica en la Subcuenca Upamayo

La pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Upamayo, obtenida por el método del RUSLE, alcanza un valor promedio de 121.2 Tn/Ha/año en el periodo desde 1981 al 2014. La máxima erosión presentada se dio en 2012, con un valor de 228.9 Tn/Ha/año, el cual representa un incremento del 89% en relación al promedio. La mínima erosión tuvo presencia en 1991, con 52.5 Tn/Ha/año que representa una disminución del 57% en relación al promedio. Cantidad de erosiones altas también se produjeron en los años 1986 y 2011. La Figura 9-4 se muestra la evolución temporal de la pérdida de suelo por erosión hídrica en el periodo 1981-2014 para la subcuenca Upamayo.



**Figura 9-3 Evolución temporal de la pérdida de suelo erosión hídrica en la subcuenca Samerino**

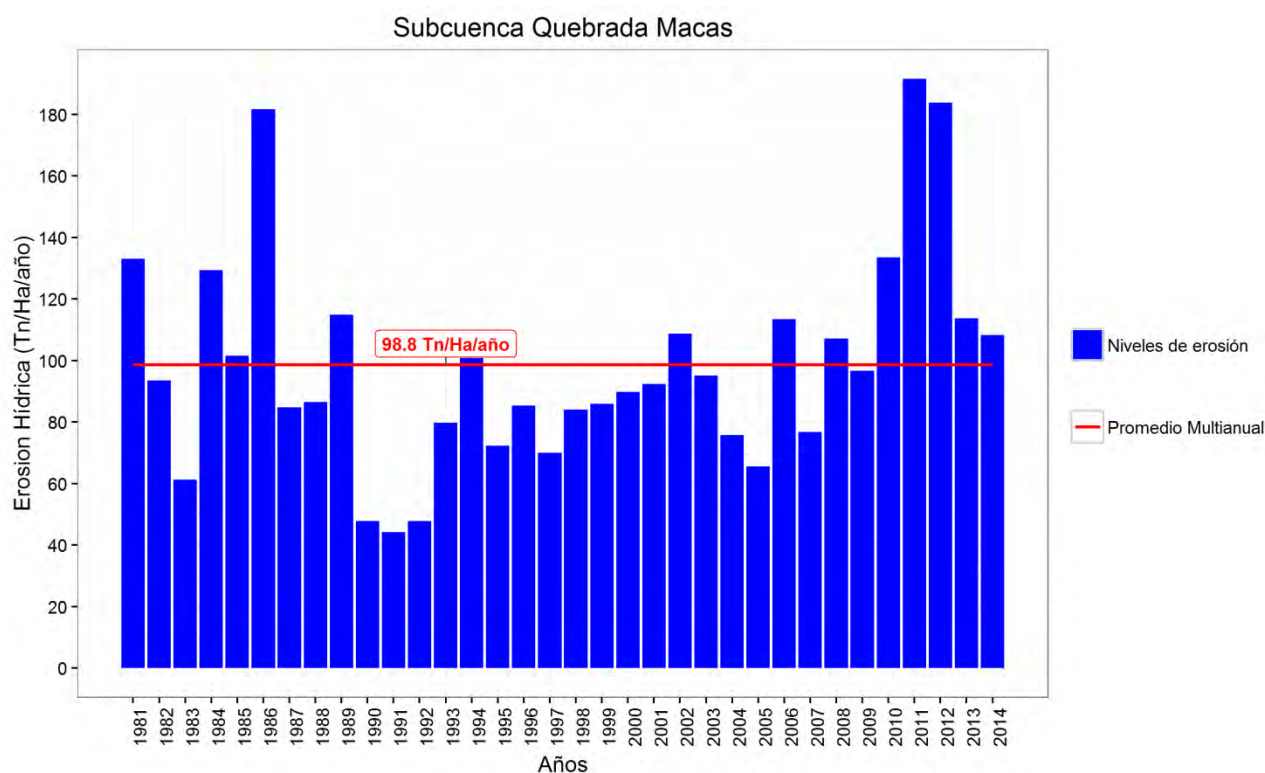


**Figura 9-4 Evolución temporal de la pérdida del suelo por erosión hídrica en la subcuenca Upamayo**

#### 9.1.5 Erosión hídrica en la Subcuenca Macas

La pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Macas, obtenida por el método del RUSLE, alcanza un valor promedio de 98.7 Tn/Ha/año en el periodo desde 1981 al 2014. La máxima erosión presentada se dio en 2011, con un valor de 191.6 Tn/Ha/año, el cual representa un incremento del 94% en relación al promedio. La mínima erosión tuvo presencia en 1991, con 44.2 Tn/Ha/año que representa una disminución del 55% en relación al promedio. Cantidad de erosiones altas también se produjeron en los años 1986 y 2011.

La Figura 9-5 se muestra la evolución temporal de la pérdida de suelo por erosión hídrica en el periodo 1981-2014 para la subcuenca Macas.



**Figura 9-5 Evolución temporal de la pérdida de erosión del suelo en la subcuenca Macas**

#### 9.1.6 Erosión hídrica en la Subcuenca Inico

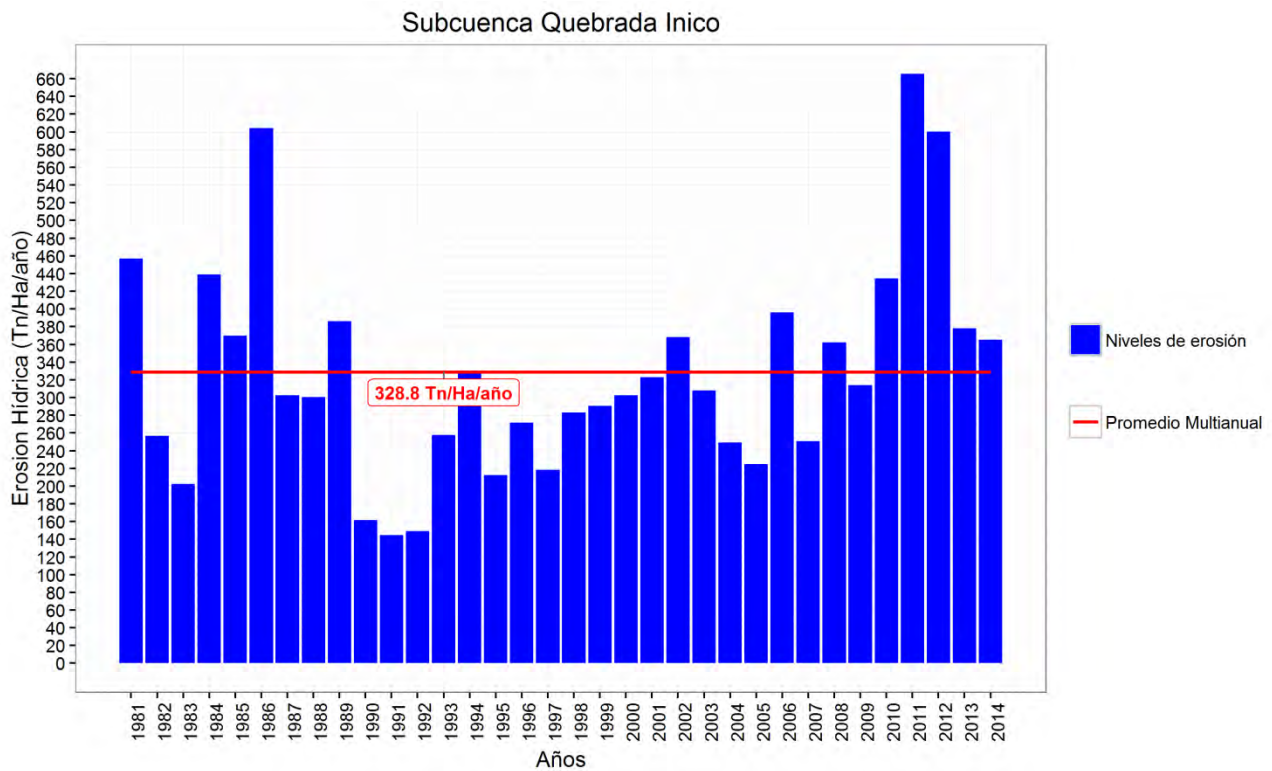
La pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Inico, obtenida por el método del RUSLE, alcanza un valor promedio de 328.84 Tn/Ha/año en el periodo desde 1981 al 2014. La máxima erosión presentada se dio en 2011, con un valor de 665.5 Tn/Ha/año, el cual representa un incremento del 102% en relación al promedio. La mínima erosión tuvo presencia en 1991, con 144.4 Tn/Ha/año que representa una disminución del 56% en relación al promedio. Cantidad de erosiones altas también se produjeron en los años 1986 y 2012.

La Figura 9-6 se muestra la evolución temporal de la pérdida de suelo por erosión hídrica en el periodo 1981-2014 para la subcuenca Inico.

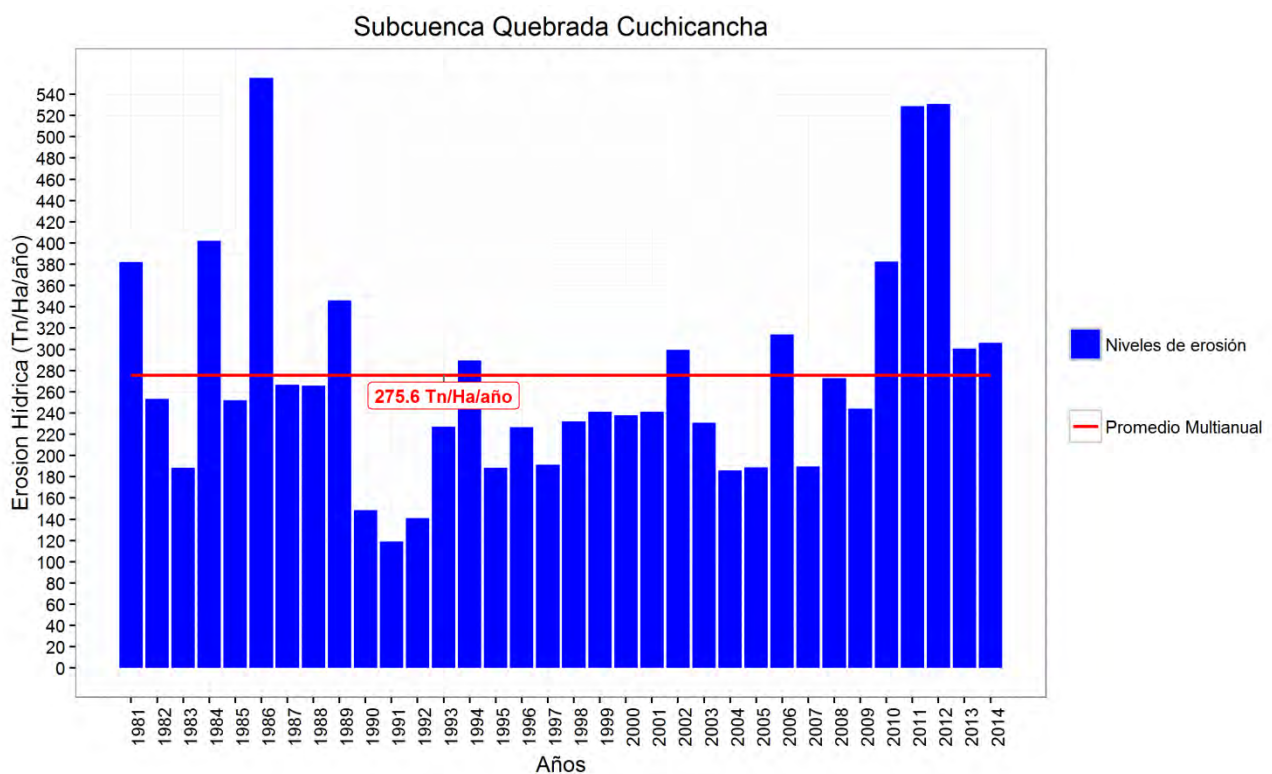
#### 9.1.7 Erosión hídrica en la Subcuenca Cuchicancha

La pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Cuchicancha, obtenida por el método del RUSLE, alcanza un valor promedio de 275.55 Tn/Ha/año en el periodo desde 1981 al 2014. La máxima erosión presentada se dio en 2012, con un valor de 555.3 Tn/Ha/año, el cual representa un incremento del 102% en relación al promedio. La mínima erosión tuvo presencia en 1991, con 118.9 Tn/Ha/año que representa una disminución del 57% en relación al promedio. Cantidad de erosiones altas también se produjeron en los años 1986 y 2011.

La Figura 9-7 se muestra la evolución temporal de la pérdida de suelo por erosión hídrica en el periodo 1981-2014 para la subcuenca Cuchicancha.



**Figura 9-6 Evolución temporal de la pérdida de erosión del suelo en la subcuenca Inico**



**Figura 9-7 Evolución temporal de la pérdida de erosión del suelo en la subcuenca Cuchicancha**

## **CAPÍTULO X**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## 10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 10.1 Conclusiones

#### 10.1.1 Respecto a la delimitación de subcuencas

En los distritos de Pampas y Santiago de Tucuma se han delimitado siete subcuencas. En el distrito de Pampas se emplazan cuatro (4/7) subcuencas: Anta (13.53 km<sup>2</sup>), Corinto (8.71 km<sup>2</sup>), Samerino (13.85 km<sup>2</sup>) y Upamayo (151.17 km<sup>2</sup>). En el distrito de Santiago de Tucuma se ubican dos (2/7) subcuencas: Cuchicancha (31.56 km<sup>2</sup>) e Inico (16.53 km<sup>2</sup>); y la séptima (1/7) subcuenca es Macas con una superficie total de 16.89 km<sup>2</sup> de los cuales 4.5 km<sup>2</sup> se emplaza en el distrito de Pampas y 7.35 km<sup>2</sup> en el distrito de Santiago de Tucuma.

#### 10.1.2 Respecto a los parámetros morfométricos, geomorfológicos e hidrológicos

En relación a los parámetros morfométricos: La subcuenca Cuchicancha e Inico presentan formas concéntricas con un coeficiente de compacidad de 1.24 coincidentemente y las subcuencas Corinto y Upamayo presentan formas más alargadas con un coeficiente de compacidad de 1.46 y 1.44 respectivamente.

La subcuenca Macas está emplazada en la altitud más alta, entre los 3650 y 4300 msnm, y la subcuenca Inico en la altitud más baja entre los 2050 y 4300 msnm.

La subcuenca Upamayo es la que presenta un mayor sistema de drenaje con un orden de nivel 5 y las subcuencas Anta, Corinto, Samerino e Inico son la que presentan menor sistema de drenaje de nivel 3.

Todas las subcuencas se caracterizan por presentar un régimen intermitente es decir que en temporadas de estiaje sus cursos principales pueden no presentar escurrimiento.

En relación a los parámetros geomorfológicos estos están directamente relacionados con la variación en el relieve del área de estudio, considerando el mapa de Orientación todas las subcuencas presentan un valor medio de 165°. En cuanto a la rugosidad presenta un intervalo de 0 a 0.3 presentándose así, baja rugosidad en todo el área de estudio. El Índice Elevación relieve varía de 0 a 591: La Curvatura predominantemente varía de 0.7 a 4.4. En resumen de los parámetros geomorfológicos,

En relación a los parámetros hidrológicos, los valores bajos de estos parámetros favorecen la deposición y los valores altos favorecen el transporte de material. La subcuenca que presentan mayor índice de humedad, potencia de cauce y transporte de sedimentos es Upamayo debido a que su extensión territorial es mayor respecto a las seis restantes en estudio.

#### 10.1.3 Respecto a la caracterización de la Precipitación

El periodo analizado para la caracterización de la precipitación corresponde a 1981 y 2015 (35 años).

La precipitación media multianual en la estación Pampas, emplazada en el entorno del Distrito de Pampas es de 566 mm por año se caracteriza por presentar un comportamiento estacional; es decir con precipitaciones importantes de octubre a abril que varían de 30 y 101 mm por mes y el resto del año varía de 6 y 25 mm por mes.

En el distrito de Pampas se ha estimado una precipitación anual de 737 mm con módulos máximos en febrero de 125 mm y módulos mínimos en junio de 14 mm. A escala trimestral, el más húmedo es Diciembre-Enero-Febrero (DEF) y concentra el 47% de la precipitación anual y el trimestre más seco es Junio-Julio-Agosto (JJA) y concentra el 7% de la

precipitación anual. Espacialmente la precipitación en el Distrito presenta un comportamiento creciente con la elevación y varía de 96 mm a 1095 mm/año.

En el distrito de Santiago de Tucuma se ha estimado una precipitación anual de 708 mm con módulos máximos en febrero de 122 mm y módulos mínimos en junio de 13 mm. A escala trimestral, el más húmedo es Diciembre-Enero-Febrero (DEF) y concentra el 48% de la precipitación anual y el trimestre más seco es Junio-Julio-Agosto (JJA) y concentra el 6% de la precipitación anual. Espacialmente la precipitación en el Distrito presenta un comportamiento creciente con la elevación y varía de 152 mm a 1056 mm/año.

A nivel de subcuencas, Upamayo y Macas son las presentan la precipitación anual más alta alcanzando módulos de 849 y 930 mm por año respectivamente; con máximos en febrero y mínimos en junio. A escala trimestral en promedio DEF es el más húmedo y JJA es el más seco.

#### 10.1.4 Respecto a la caracterización de la Temperatura mínima

El periodo analizado para la caracterización de la temperatura mínima corresponde a 1995 y 2015 (21 años)

La temperatura mínima anual en la estación Pampas, es de 3.4° C se caracteriza por presentar un comportamiento estacional; es decir con módulos importantes de octubre a abril que varían de 4 a 7° C y de mayo a setiembre varía de 0 y 3° C.

En el distrito de Pampas se ha estimado una temperatura mínima anual de 1.5° C, siendo el mes menos frío febrero con 5.3° C y el mes más frío julio con -2.9° C. Espacialmente la temperatura mínima en el Distrito presenta un comportamiento decreciente con la elevación y varía de 9° C a -5° C.

En el distrito de Santiago de Tucuma se ha estimado una temperatura mínima anual de 2° C, siendo el mes menos frío febrero con 5.9° C y el mes más frío julio con -2.7° C. Espacialmente la temperatura mínima en el Distrito presenta un comportamiento decreciente con la elevación y varía de 12° C a -4° C.

A nivel de subcuencas, Upamayo y Macas son las presentan una temperatura mínima anual más fría alcanzando módulos de -0.3° C y -2.5° C respectivamente. Las subcuencas Corinto y Inico presentan una temperatura mínima anual menos fría alcanzando módulos de 1.7° C y 3.2° C respectivamente; en promedio con módulos menos fríos en febrero y módulos más fríos en junio.

#### 10.1.5 Respecto a la caracterización de la Temperatura máxima

El periodo analizado para la caracterización de la temperatura máxima corresponde a 1995 y 2015 (21 años)

La temperatura máxima anual en la estación Pampas, es de 17.9° C se caracteriza por presentar un comportamiento poco variable; es decir durante el año varía de 17 a 19° C.

En el distrito de Pampas se ha estimado una temperatura máxima anual de 17° C, siendo el mes más cálido noviembre con 17.7° C y el mes menos cálido marzo con 16.1° C. Espacialmente la temperatura máxima en el Distrito presenta un comportamiento decreciente con la elevación y varía de 20° C a 14° C.

En el distrito de Santiago de Tucuma se ha estimado una temperatura máxima anual de 17° C, siendo el mes más cálido noviembre con 18° C y el mes menos cálido marzo con -

16.2° C. Espacialmente la temperatura máxima en el Distrito presenta un comportamiento decreciente con la elevación y varía de 22° C a 13° C.

A nivel de subcuencas, Upamayo y Macas son las presentan una temperatura máxima anual menos cálida alcanzando módulos de 15.8° C y 14.9° C respectivamente. Las subcuencas Corinto y Inico presentan una temperatura máxima anual más cálida alcanzando módulos de 16.8° C y 17.4° C respectivamente; en promedio con módulos más cálidos en noviembre y módulos menos cálidos en marzo.

#### 10.1.6 Respecto a la caracterización de la Evapotranspiración Potencial

El periodo analizado para la caracterización de la evapotranspiración potencial corresponde a 1995 y 2015 (21 años)

La Evapotranspiración potencial anual en la estación Pampas, es de 1288 mm por año, se caracteriza por presentar un comportamiento poco variable; es decir durante el año varía de 88 a 126 mm/mes correspondiente a 3 y 4 mm/día.

En el distrito de Pampas se ha estimado una evapotranspiración anual de 1220 mm por año, con valores máximos en el mes de noviembre con 119 mm y con valores mínimos en el mes de junio con 83 mm. Espacialmente la evapotranspiración anual en el Distrito presenta una variabilidad comprendida entre 572 y 1421 mm por año.

En el distrito de Santiago de Tucuma se ha estimado una evapotranspiración anual de 1159 mm por año, con valores máximos en el mes de noviembre con 113 mm y con valores mínimos en el mes de junio con 83 mm. Espacialmente la evapotranspiración anual en el Distrito presenta una variabilidad comprendida entre 1009 y 1407 mm por año.

A nivel de subcuencas, Macas presentan una evapotranspiración anual de 1067 mm por año y la subcuenca Corinto con 1232 mm por año; siendo lo más alto y más bajo de las siete en estudio.

#### 10.1.7 Respecto a la caracterización del Ecurrimiento Superficial

El periodo analizado para la caracterización del escurrimiento superficial corresponde a 1995 y 2015 (21 años), el análisis de esta variable se ha realizado a nivel de subcuencas, basado en un proceso metodológico empírico de alcance climático basado en el método Budyko.

A nivel de subcuencas, los módulos más alto y más bajo generados se obtuvieron para Macas e Inico con un escurrimiento superficial anual de 422 mm por año y 352 mm por año; respectivamente.

#### 10.1.8 Respecto a la caracterización de la oferta Hídrica Superficial

El periodo analizado para la caracterización de la oferta hídrica superficial corresponde a 1981 y 2015 (35 años), el análisis de esta variable se ha realizado a nivel de subcuencas, basado en la metodología de transposición hidrométrica de parámetros del modelo GR2m; y la información hidrológica de la Subcuenca del río Virgen en la cuenca del Mantaro con punto de control en la estación Yulapuquio, para la desagregación mensual.

Se ha reconstruido información continua de caudales medios mensuales a escala en las siete subcuenca en estudio; a escala anual la mayor oferta hídrica la ofrece la subcuenca Upamayo alcanzando 1.16 m<sup>3</sup>/s y la menor oferta hídrica la presenta la subcuenca Corinto con 0.065 m<sup>3</sup>/s.



- Para la subcuenca Anta se ha estimado un caudal promedio anual de 0.134 m<sup>3</sup>/s, con un módulo máximo y mínimo de 1.54 m<sup>3</sup>/s y 0.011 m<sup>3</sup>/s respectivamente. En años húmedos el caudal promedio anual crece a 0.199 m<sup>3</sup>/s y en años secos puede bajar a 0.082 m<sup>3</sup>/s; y para niveles de persistencia de 50% es de 0.127 m<sup>3</sup>/s. A escala mensual, en época de avenidas el caudal promedio alcanza 0.425 m<sup>3</sup>/s (febrero) y en estiaje llega a valores mínimos de 0.018 m<sup>3</sup>/s (setiembre).
- Para la subcuenca Corinto se ha estimado un caudal promedio anual de 0.06 m<sup>3</sup>/s, con un módulo máximo y mínimo de 0.79 m<sup>3</sup>/s y 0.005 m<sup>3</sup>/s respectivamente. En años húmedos el caudal promedio anual crece a 0.096 m<sup>3</sup>/s y en años secos puede bajar a 0.039 m<sup>3</sup>/s y para niveles de persistencia de 50% es de 0.060 m<sup>3</sup>/s. A escala mensual, en época de avenidas el caudal promedio alcanza 0.203 m<sup>3</sup>/s (febrero) y en estiaje llega a valores mínimos de 0.009 m<sup>3</sup>/s (setiembre).
- Para la subcuenca Samerino se ha estimado un caudal promedio anual de 0.100 m<sup>3</sup>/s, con un módulo máximo y mínimo de 1.29 m<sup>3</sup>/s y 0.009 m<sup>3</sup>/s respectivamente. En años húmedos el caudal promedio anual crece a 0.155 m<sup>3</sup>/s y en años secos puede bajar a 0.061 m<sup>3</sup>/s y para niveles de persistencia de 50% es de 0.095 m<sup>3</sup>/s. A escala mensual, en época de avenidas el caudal promedio alcanza 0.326 m<sup>3</sup>/s (febrero) y en estiaje llega a valores mínimos de 0.014 m<sup>3</sup>/s (setiembre).
- Para la subcuenca Upamayo se ha estimado un caudal promedio anual de 1.15 m<sup>3</sup>/s, con un módulo máximo y mínimo de 13.27 m<sup>3</sup>/s y 0.091 m<sup>3</sup>/s respectivamente. En años húmedos el caudal promedio anual crece a 1.698 m<sup>3</sup>/s y en años secos puede bajar a 0.701 m<sup>3</sup>/s y para niveles de persistencia de 50% es de 1.065 m<sup>3</sup>/s. A escala mensual, en época de avenidas el caudal promedio alcanza 3.676 m<sup>3</sup>/s (febrero) y en estiaje llega a valores mínimos de 0.151 m<sup>3</sup>/s (setiembre).
- Para la subcuenca Macas se ha estimado un caudal promedio anual de 0.13 m<sup>3</sup>/s, con un módulo máximo y mínimo de 1.83 m<sup>3</sup>/s y 0.011 m<sup>3</sup>/s respectivamente. En años húmedos el caudal promedio anual crece a 0.205 m<sup>3</sup>/s y en años secos puede bajar a 0.078 m<sup>3</sup>/s y para niveles de persistencia de 50% es de 1.22 m<sup>3</sup>/s. A escala mensual, en época de avenidas el caudal promedio alcanza 0.428 m<sup>3</sup>/s (febrero) y en estiaje llega a valores mínimos de 0.019 m<sup>3</sup>/s (setiembre).
- Para la subcuenca Inico se ha estimado un caudal promedio anual de 0.11 m<sup>3</sup>/s, con un módulo máximo y mínimo de 1.20 m<sup>3</sup>/s y 0.009 m<sup>3</sup>/s respectivamente. En años húmedos el caudal promedio anual crece a 0.175 m<sup>3</sup>/s y en años secos puede bajar a 0.062 m<sup>3</sup>/s y para niveles de persistencia de 50% es de 0.101 m<sup>3</sup>/s. A escala mensual, en época de avenidas el caudal promedio alcanza 0.367 m<sup>3</sup>/s (febrero) y en estiaje llega a valores mínimos de 0.014 m<sup>3</sup>/s (setiembre).
- Para la subcuenca Cuchicancha se ha estimado un caudal promedio anual de 0.23 m<sup>3</sup>/s, con un módulo máximo y mínimo de 2.77 m<sup>3</sup>/s y 0.019 m<sup>3</sup>/s respectivamente. En años húmedos el caudal promedio anual crece a 0.338 m<sup>3</sup>/s y en años secos puede bajar a 0.137 m<sup>3</sup>/s y para niveles de persistencia de 50% es de 0.211 m<sup>3</sup>/s. A escala mensual, en época de avenidas el caudal promedio alcanza 0.714 m<sup>3</sup>/s (febrero) y en estiaje llega a valores mínimos de 0.031 m<sup>3</sup>/s (setiembre).

#### 10.1.9 Respecto a la caracterización de eventos de sequías e inundaciones

Los eventos de sequía han sido evaluados en el periodo 1981-2015 con información del banco de datos de SPI 3 en el mes Marzo y SPI 12 en el mes de agosto de PISCO elaborado por la Dirección de Hidrología del SENAMHI.

En general la sequía evaluada con SPI 3 en marzo muestra que los impactos regionales de mayor extensión son las registradas en 1990, 1991 y 1992 y alcanzaron intensidades de moderada a severa; otra sequía de impactos regionales pero de menor escala fue la registrada el 2005 con intensidades de leve a moderada, en las siete subcuencas.

La sequías evaluada con SPI 12 en agosto muestra que el año 1990, 1991 y 1992 presentó impactos regionales de menor extensión territorial e intensidades más variables registrándose desde leve a severa. Y la presentada el año 2005 las intensidades variaron de leve a moderado, en las siete subcuencas.

En relación a las área en riesgo potencial de inundaciones, se obtenido basado en el índice de inundación propuesto por Uribe-Alcantara, 2010, el cual indica que la subcuenca Upamayo presenta áreas propensas a inundaciones perennes.

#### 10.1.10 Respecto a la caracterización perdida de suelo por erosión hídrica

La pérdida de suelo por erosión hídrica ha sido evaluados en el periodo 1981-2014 con información anual y de alcance nacional y de ~ 250 m de resolución elaborado por la Dirección de Hidrología del SENAMHI.

Las subcuencas Cuchicancha e Inico son las que presentan mayor perdidas de suelo por erosión hídrica de 555.3 tn/ha/año y 665.50 tn/Ha/año respectivamente y las subcuencas Macas y Upamayo son las que presentan menor perdida de suelo con 191.6 tn/Ha/año y 228.92 tn/Ha/año en el periodo de estudio. En todos los casos los niveles de erosión estimados están catalogados como graves.

### 10.2 Recomendaciones

La oferta hídrica en el periodo de estiaje es muy limitada por tanto se debe implementar proyectos de siembra y cosecha de agua teniendo en cuenta las zonas de mayor producción de escorrentía mostradas en los mapas que forman parte de este estudio.

La información de caudales generados debe ser contrastada con datos de aforos obtenidos en aguas altas y bajas.

Los altos niveles de erosión hídrica encontrados, amerita la implementación de proyectos de conservación de suelos para mitigar este proceso de degradación identificada en los distritos.

Sistematizar la información hidroclimática generada en un repositorio virtual del PPR 089 Degradación de suelos agrarios.

El estudio hidrológico realizado cubre la necesidad de información de la oferta hídrica superficial, siendo necesario complementar dicha información con estudios de demanda para incorporarlos en proyectos de aprovechamiento hídrico.

## Bibliografía

- Acuña D. et al., 2012. Escenarios de cambio climático en las regiones Cusco y Apurímac: precipitación y temperatura 2030 y 2050 (Climate change scenarios for the region of Cusco and Apurímac: Precipitation and temperatura, 2030 and 2050). Report, Servicio Nacional de Meteorología a Hidrología del Perú (SENAMHI), Lima, Perú, 144 pp.
- Buytaert, W. 2010. Impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos del Perú. Capítulo: Impacto sobre el balance hídrico.
- Cemagref, 2008. GR : Modèles Hydrologiques du Génie Rural. Consultado en la web: <http://fresno.cemagref.fr/webgr/index.htm>
- Carmona D. y Delgado G., 2013. Ajuste y validación del modelo hidrológico GR2m en la cuenca alta del río Nazas - AGROFAZ volumen 13 Número 2.
- Fernández, C. 2015. Códigos en R para control de calidad de datos hidrometeorológicos y métodos de interpolación.
- Gibbs, W.J. y Maher, J.V., 1967 Rainfall deciles as drought indicators. Bureau of Meteorology Bllletin, 48. Commonwealth of Australia, Melbourne.
- Halcrow Group, 2011. Atlas del Potencial Hidroeléctrico del Perú. Dirección General de Electrificación Rural del Ministerio de Energía y Minas del Perú.
- IGP, 2005. Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del Río Mantaro – evaluación local integrada de cambio climático para la cuenca del río Mantaro – Volumen I
- IGP 2012. Eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) en el valle del Mantaro", Volumen I -168 pp.
- INRENA, 2008. Afianzamiento hídrico en el valle del río Shullcas con fines agrícolas. Volumen II Estudios Básicos
- Ministerio de Agricultura – FAO, 2012. Plan de gestión de riesgo y adaptación al cambio climático en el sector agrario, periodo 22-2021. Documento resumen y base de datos.
- Nash, J. E., y Sutcliffe, J. V. 1970, River flow forecasting through conceptual models. Part I— A discussion of principles. Journal of Hydrology 10: 282–290.
- Molnar, P. 2011. Calibration. Watershed Modelling, SS 21. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich. Switzerland.
- PRAA Perú, Plan de gestión integrado de recursos hídricos de la subcuenca del río Shullcas.
- Roldan E., 2009. "Reconstrucción histórica de los caudales medios mensuales a lo largo de la red de drenaje de Colombia. Tesis de grado de Maestría del Post grado en

Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia.

SENAMHI, 1988. Mapa de Clasificación climática del Perú. Método de Thornthwaite. Eds. Senamhi Peru, 14 pp

SENAMHI, 2009 Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030. Autores: Obregón, G., Díaz, A., Rosas, G., Avalos, G., Oria, C., Acuña, D., Llacza, A., Richard, M. Proyecto SCNCC, Segunda Comunicación de Cambio Climático en Perú. Editor Ministerio del Ambiente.

SENAMHI, 2011. Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro.

SENAMHI, 2015. Boletín de sequías.

UNESCO, 1982. Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del sur, publicada en 1982. <http://www.unesco.org.uy/phi/libros/guametodolbalhidAS.pdf>

Valiente, O.M., 2010. Sequia: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. Invest. Geog., 26:59-80

Vicente Serrano, S.M. y Cuadrat, J.M. Desarrollo de un método analítico para la obtención del SPI (Standardized Precipitation Index) como herramienta para el seguimiento y prevención de sequías climáticas.

## **CAPÍTULO XI**

### **ANEXOS DE TABLAS Y FIGURAS**

## 11 Anexo

### 11.1 Anexo de Tablas

#### 11.1.1 Curva hipsométrica

- **Curva hipsométrica de la subcuenca Anta**

Cota mas Baja	Cota mas Alta	Área Parcial (Km <sup>2</sup> )	Área q esta debajo de la Altitud	Área q esta sobre la Altitud	% Área q esta debajo de la Altitud	% Área q esta sobre la Altitud
		-	-	13.532	0.000	100.000
2750	2750	0.0050	0.0050	13.527	0.037	99.963
2750	2800	0.0200	0.025	13.507	0.185	99.815
2800	2850	0.0540	0.079	13.453	0.584	99.416
2850	2900	0.1040	0.183	13.349	1.352	98.648
2900	2950	0.1370	0.320	13.212	2.365	97.635
2950	3000	0.2070	0.527	13.005	3.894	96.106
3000	3050	0.2120	0.739	12.793	5.461	94.539
3050	3100	0.2460	0.985	12.547	7.279	92.721
3100	3150	0.3020	1.287	12.245	9.511	90.489
3150	3200	0.3140	1.601	11.931	11.831	88.169
3200	3250	0.3620	1.963	11.569	14.506	85.494
3250	3300	0.3950	2.358	11.174	17.425	82.575
3300	3350	0.4060	2.764	10.768	20.426	79.574
3350	3400	0.4420	3.206	10.326	23.692	76.308
3400	3450	0.4780	3.684	9.848	27.224	72.776
3450	3500	0.4610	4.145	9.387	30.631	69.369
3500	3550	0.4960	4.641	8.891	34.296	65.704
3550	3600	0.4760	5.117	8.415	37.814	62.186
3600	3650	0.6350	5.752	7.780	42.507	57.493
3650	3700	0.6310	6.383	7.149	47.170	52.830
3700	3750	0.5590	6.942	6.590	51.301	48.699
3750	3800	0.4520	7.394	6.138	54.641	45.359
3800	3850	0.4580	7.852	5.680	58.025	41.975
3850	3900	0.3890	8.241	5.291	60.900	39.100
3900	3950	0.3800	8.621	4.911	63.708	36.292
3950	4000	0.3600	8.981	4.551	66.369	33.631
4000	4050	0.4290	9.410	4.122	69.539	30.461
4050	4100	0.4390	9.849	3.683	72.783	27.217
4100	4150	0.5610	10.410	3.122	76.929	23.071
4150	4200	0.7240	11.134	2.398	82.279	17.721
4200	4250	0.8470	11.981	1.551	88.538	11.462
4250	4300	0.8050	12.786	0.746	94.487	5.513
4300	4350	0.6030	13.389	0.143	98.943	1.057
4350	4400	0.1430	13.532	0.000	100.000	0.000

• **Curva hipsométrica de la subcuenca Corinto**

Cota	Cota	Área	Área q esta	Área q esta	% Área q	% Área q
mas	mas	Parcial	debajo	sobre	esta debajo	esta sobre
Baja	Alta	(Km <sup>2</sup> )	de la Altitud	la Altitud	de la Altitud	la Altitud
		-	-	8.715	0.000	100.000
2750	2750	0.0110	0.0110	8.704	0.126	99.874
2750	2800	0.0600	0.071	8.644	0.815	99.185
2800	2850	0.0800	0.151	8.564	1.733	98.267
2850	2900	0.0990	0.250	8.465	2.869	97.131
2900	2950	0.1240	0.374	8.341	4.291	95.709
2950	3000	0.1550	0.529	8.186	6.070	93.930
3000	3050	0.1900	0.719	7.996	8.250	91.750
3050	3100	0.2380	0.957	7.758	10.981	89.019
3100	3150	0.2370	1.194	7.521	13.701	86.299
3150	3200	0.2490	1.443	7.272	16.558	83.442
3200	3250	0.2610	1.704	7.011	19.552	80.448
3250	3300	0.2630	1.967	6.748	22.570	77.430
3300	3350	0.3040	2.271	6.444	26.059	73.941
3350	3400	0.3510	2.622	6.093	30.086	69.914
3400	3450	0.4000	3.022	5.693	34.676	65.324
3450	3500	0.3890	3.411	5.304	39.139	60.861
3500	3550	0.4070	3.818	4.897	43.810	56.190
3550	3600	0.4010	4.219	4.496	48.411	51.589
3600	3650	0.3950	4.614	4.101	52.943	47.057
3650	3700	0.4180	5.032	3.683	57.740	42.260
3700	3750	0.3570	5.389	3.326	61.836	38.164
3750	3800	0.3310	5.720	2.995	65.634	34.366
3800	3850	0.2990	6.019	2.696	69.065	30.935
3850	3900	0.3280	6.347	2.368	72.828	27.172
3900	3950	0.2770	6.624	2.091	76.007	23.993
3950	4000	0.2960	6.920	1.795	79.403	20.597
4000	4050	0.2320	7.152	1.563	82.065	17.935
4050	4100	0.2850	7.437	1.278	85.336	14.664
4100	4150	0.3610	7.798	0.917	89.478	10.522
4150	4200	0.3990	8.197	0.518	94.056	5.944
4200	4250	0.3070	8.504	0.211	97.579	2.421
4250	4300	0.1660	8.670	0.045	99.484	0.516
4300	4350	0.0400	8.710	0.005	99.943	0.057
4350	4400	0.0050	8.715	0.000	100.000	0.000

• **Curva hipsométrica de la subcuenca Samerino**

Cota	Cota	Área	Área q esta	Área q esta	% Área q	% Área q
mas	mas	Parcial	debajo	sobre	esta debajo	esta sobre
Baja	Alta	(Km <sup>2</sup> )	de la Altitud	la Altitud	de la Altitud	la Altitud
		-	-	13.856	0.000	100.000
2750	2750	0.0260	0.0260	13.830	0.188	99.812
2750	2800	0.0630	0.089	13.767	0.642	99.358
2800	2850	0.0840	0.173	13.683	1.249	98.751
2850	2900	0.1260	0.299	13.557	2.158	97.842
2900	2950	0.1630	0.462	13.394	3.334	96.666
2950	3000	0.2030	0.665	13.191	4.799	95.201
3000	3050	0.2330	0.898	12.958	6.481	93.519
3050	3100	0.2800	1.178	12.678	8.502	91.498
3100	3150	0.3240	1.502	12.354	10.840	89.160
3150	3200	0.3560	1.858	11.998	13.409	86.591
3200	3250	0.3660	2.224	11.632	16.051	83.949
3250	3300	0.4110	2.635	11.221	19.017	80.983
3300	3350	0.4520	3.087	10.769	22.279	77.721
3350	3400	0.4410	3.528	10.328	25.462	74.538
3400	3450	0.5390	4.067	9.789	29.352	70.648
3450	3500	0.5610	4.628	9.228	33.401	66.599
3500	3550	0.5800	5.208	8.648	37.587	62.413
3550	3600	0.6120	5.820	8.036	42.003	57.997
3600	3650	0.7100	6.530	7.326	47.128	52.872
3650	3700	0.6500	7.180	6.676	51.819	48.181
3700	3750	0.5790	7.759	6.097	55.997	44.003
3750	3800	0.6050	8.364	5.492	60.364	39.636
3800	3850	0.5500	8.914	4.942	64.333	35.667
3850	3900	0.5610	9.475	4.381	68.382	31.618
3900	3950	0.4620	9.937	3.919	71.716	28.284
3950	4000	0.5260	10.463	3.393	75.512	24.488
4000	4050	0.5250	10.988	2.868	79.301	20.699
4050	4100	0.5530	11.541	2.315	83.292	16.708
4100	4150	0.6720	12.213	1.643	88.142	11.858
4150	4200	0.5070	12.720	1.136	91.801	8.199
4200	4250	0.4530	13.173	0.683	95.071	4.929
4250	4300	0.3110	13.484	0.372	97.315	2.685
4300	4350	0.2350	13.719	0.137	99.011	0.989
4350	4400	0.1110	13.830	0.026	99.812	0.188
4400	4450	0.0260	13.856	0.000	100.000	0.000



- Curva hipsométrica de la subcuenca Upamayo**

Cota	Cota	Área	Área q esta	Área q esta	% Área q	% Área q
mas	mas	Parcial	debajo	sobre	esta debajo	esta sobre
Baja	Alta	(Km <sup>2</sup> )	de la Altitud	la Altitud	de la Altitud	la Altitud
		-	-	151.169	0.000	100.000
3250	3300	10.5740	10.5740	140.595	6.995	93.005
3300	3350	5.2070	15.781	135.388	10.439	89.561
3350	3400	3.8160	19.597	131.572	12.964	87.036
3400	3450	3.8870	23.484	127.685	15.535	84.465
3450	3500	4.2930	27.777	123.392	18.375	81.625
3500	3550	4.2910	32.068	119.101	21.213	78.787
3550	3600	4.6700	36.738	114.431	24.303	75.697
3600	3650	5.1820	41.920	109.249	27.731	72.269
3650	3700	5.7930	47.713	103.456	31.563	68.437
3700	3750	6.0290	53.742	97.427	35.551	64.449
3750	3800	6.6973	60.439	90.730	39.981	60.019
3800	3850	6.9318	67.371	83.798	44.567	55.433
3850	3900	6.6766	74.048	77.121	48.983	51.017
3900	3950	6.8526	80.900	70.269	53.517	46.483
3950	4000	7.5184	88.419	62.750	58.490	41.510
4000	4050	8.5434	96.962	54.207	64.142	35.858
4050	4100	9.6559	106.618	44.551	70.529	29.471
4100	4150	10.9564	117.574	33.594	77.777	22.223
4150	4200	13.3392	130.914	20.255	86.601	13.399
4200	4250	12.1910	143.105	8.064	94.665	5.335
4250	4300	5.4957	148.600	2.568	98.301	1.699
4300	4350	1.9461	150.546	0.622	99.588	0.412
4350	4400	0.5275	151.074	0.095	99.937	0.063
4400	4450	0.0819	151.156	0.013	99.991	0.009
4450	4500	0.0130	151.169	0.000	100.000	0.000

- Curva hipsométrica de la subcuenca Macas**

Cota	Cota	Área	Área q esta	Área q esta	% Área q	% Área q
mas	mas	Parcial	debajo	sobre	esta debajo	esta sobre
Baja	Alta	(Km <sup>2</sup> )	de la Altitud	la Altitud	de la Altitud	la Altitud
		-	-	16.888	0.000	100.000
3600	3650	0.0540	0.0540	16.834	0.320	99.680
3650	3700	0.1700	0.224	16.664	1.326	98.674
3700	3750	0.2940	0.518	16.370	3.067	96.933
3750	3800	0.4790	0.997	15.891	5.904	94.096
3800	3850	0.6940	1.691	15.197	10.013	89.987
3850	3900	0.9210	2.612	14.276	15.467	84.533
3900	3950	1.1300	3.742	13.146	22.158	77.842
3950	4000	1.3360	5.078	11.810	30.069	69.931
4000	4050	1.5300	6.608	10.280	39.128	60.872
4050	4100	1.7640	8.372	8.516	49.574	50.426
4100	4150	2.3800	10.752	6.136	63.667	36.333
4150	4200	2.2100	12.962	3.926	76.753	23.247

Cota	Cota	Área	Área q esta	Área q esta	% Área q	% Área q
mas	mas	Parcial	debajo	sobre	esta debajo	esta sobre
Baja	Alta	(Km <sup>2</sup> )	de la Altitud	la Altitud	de la Altitud	la Altitud
4200	4250	1.9290	14.891	1.997	88.175	11.825
4250	4300	1.3360	16.227	0.661	96.086	3.914
4300	4350	0.5950	16.822	0.066	99.609	0.391
4350	4400	0.0660	16.888	0.000	100.000	0.000

• **Curva hipsométrica de la subcuenca Inico**

Cota	Cota	Área	Área q esta	Área q esta	% Área q	% Área q
mas	mas	Parcial	debajo	sobre	esta debajo	esta sobre
Baja	Alta	(Km <sup>2</sup> )	de la Altitud	la Altitud	de la Altitud	la Altitud
		-	-	16.531	0.000	100.000
2000	2050	0.0020	0.0020	16.529	0.012	99.988
2050	2100	0.0420	0.044	16.487	0.266	99.734
2100	2150	0.0480	0.092	16.439	0.557	99.443
2150	2200	0.0630	0.155	16.376	0.938	99.062
2200	2250	0.0870	0.242	16.289	1.464	98.536
2250	2300	0.1090	0.351	16.180	2.123	97.877
2300	2350	0.1420	0.493	16.038	2.982	97.018
2350	2400	0.1550	0.648	15.883	3.920	96.080
2400	2450	0.1800	0.828	15.703	5.009	94.991
2450	2500	0.2200	1.048	15.483	6.340	93.660
2500	2550	0.2350	1.283	15.248	7.761	92.239
2550	2600	0.2760	1.559	14.972	9.431	90.569
2600	2650	0.2910	1.850	14.681	11.191	88.809
2650	2700	0.3650	2.215	14.316	13.399	86.601
2700	2750	0.3900	2.605	13.926	15.758	84.242
2750	2800	0.4140	3.019	13.512	18.263	81.737
2800	2850	0.3980	3.417	13.114	20.670	79.330
2850	2900	0.3980	3.815	12.716	23.078	76.922
2900	2950	0.4460	4.261	12.270	25.776	74.224
2950	3000	0.4570	4.718	11.813	28.540	71.460
3000	3050	0.4570	5.175	11.356	31.305	68.695
3050	3100	0.4980	5.673	10.858	34.317	65.683
3100	3150	0.5300	6.203	10.328	37.523	62.477
3150	3200	0.5260	6.729	9.802	40.705	59.295
3200	3250	0.5200	7.249	9.282	43.851	56.149
3250	3300	0.5680	7.817	8.714	47.287	52.713
3300	3350	0.5620	8.379	8.152	50.687	49.313
3350	3400	0.6840	9.063	7.468	54.824	45.176
3400	3450	0.6810	9.744	6.787	58.944	41.056
3450	3500	0.7830	10.527	6.004	63.680	36.320
3500	3550	0.6820	11.209	5.322	67.806	32.194
3550	3600	0.6410	11.850	4.681	71.684	28.316
3600	3650	0.4740	12.324	4.207	74.551	25.449
3650	3700	0.4620	12.786	3.745	77.346	22.654
3700	3750	0.3600	13.146	3.385	79.523	20.477

Cota	Cota	Área	Área q esta	Área q esta	% Área q	% Área q
mas	mas	Parcial	debajo	sobre	esta debajo	esta sobre
Baja	Alta	(Km <sup>2</sup> )	de la Altitud	la Altitud	de la Altitud	la Altitud
3750	3800	0.3530	13.499	3.032	81.659	18.341
3800	3850	0.2990	13.798	2.733	83.467	16.533
3850	3900	0.3460	14.144	2.387	85.560	14.440
3900	3950	0.2400	14.384	2.147	87.012	12.988
3950	4000	0.2320	14.616	1.915	88.416	11.584
4000	4050	0.2160	14.832	1.699	89.722	10.278
4050	4100	0.2470	15.079	1.452	91.217	8.783
4100	4150	0.2960	15.375	1.156	93.007	6.993
4150	4200	0.3970	15.772	0.759	95.409	4.591
4200	4250	0.4110	16.183	0.348	97.895	2.105
4250	4300	0.2850	16.468	0.063	99.619	0.381
4300	4350	0.0630	16.531	0.000	100.000	0.000

- Curva hipsométrica de la subcuenca Cuchicancha**

Cota	Cota	Área	Área q esta	Área q esta	% Área q	% Área q
mas	mas	Parcial	debajo	sobre	esta debajo	esta sobre
Baja	Alta	(Km <sup>2</sup> )	de la Altitud	la Altitud	de la Altitud	la Altitud
		-	-	31.552	0.000	100.000
2200	2250	0.0040	0.0040	31.548	0.013	99.987
2250	2300	0.0270	0.031	31.521	0.098	99.902
2300	2350	0.0420	0.073	31.479	0.231	99.769
2350	2400	0.0360	0.109	31.443	0.345	99.655
2400	2450	0.0480	0.157	31.395	0.498	99.502
2450	2500	0.0550	0.212	31.340	0.672	99.328
2500	2550	0.0730	0.285	31.267	0.903	99.097
2550	2600	0.0720	0.357	31.195	1.131	98.869
2600	2650	0.0850	0.442	31.110	1.401	98.599
2650	2700	0.1000	0.542	31.010	1.718	98.282
2700	2750	0.1110	0.653	30.899	2.070	97.930
2750	2800	0.1310	0.784	30.768	2.485	97.515
2800	2850	0.1190	0.903	30.649	2.862	97.138
2850	2900	0.1410	1.044	30.508	3.309	96.691
2900	2950	0.1590	1.203	30.349	3.813	96.187
2950	3000	0.2100	1.413	30.139	4.478	95.522
3000	3050	0.2940	1.707	29.845	5.410	94.590
3050	3100	0.4180	2.125	29.427	6.735	93.265
3100	3150	0.5480	2.673	28.879	8.472	91.528
3150	3200	0.7120	3.385	28.167	10.728	89.272
3200	3250	0.9500	4.335	27.217	13.739	86.261
3250	3300	1.1480	5.483	26.069	17.378	82.622
3300	3350	1.1450	6.628	24.924	21.007	78.993
3350	3400	1.2450	7.873	23.679	24.952	75.048
3400	3450	1.2800	9.153	22.399	29.009	70.991
3450	3500	1.3130	10.466	21.086	33.171	66.829
3500	3550	1.4670	11.933	19.619	37.820	62.180

Cota	Cota	Área	Área q esta	Área q esta	% Área q	% Área q
mas	mas	Parcial	debajo	sobre	esta debajo	esta sobre
Baja	Alta	(Km <sup>2</sup> )	de la Altitud	la Altitud	de la Altitud	la Altitud
3550	3600	1.4270	13.360	18.192	42.343	57.657
3600	3650	1.3560	14.716	16.836	46.640	53.360
3650	3700	1.3750	16.091	15.461	50.998	49.002
3700	3750	1.4020	17.493	14.059	55.442	44.558
3750	3800	1.4530	18.946	12.606	60.047	39.953
3800	3850	1.4520	20.398	11.154	64.649	35.351
3850	3900	1.5640	21.962	9.590	69.606	30.394
3900	3950	1.4330	23.395	8.157	74.147	25.853
3950	4000	1.3800	24.775	6.777	78.521	21.479
4000	4050	1.2480	26.023	5.529	82.477	17.523
4050	4100	1.3360	27.359	4.193	86.711	13.289
4100	4150	1.0770	28.436	3.116	90.124	9.876
4150	4200	1.2310	29.667	1.885	94.026	5.974
4200	4250	1.2020	30.869	0.683	97.835	2.165
4250	4300	0.5730	31.442	0.110	99.651	0.349
4300	4350	0.1080	31.550	0.002	99.994	0.006
4350	4400	0.0020	31.552	0.000	100.000	0.000

### 11.1.2 Altitud media de la cuenca

- **Altitud media de la subcuenca Anta**

Cota mas	Cota mas	Altitud media de cada	Área Parcial-si	(hixsi)
Baja	Alta	área parcial-hi	(Km <sup>2</sup> )	Km
2750	2750	2750	0.0050	13.75
2750	2800	2775	0.0200	55.50
2800	2850	2825	0.0540	152.55
2850	2900	2875	0.1040	299.00
2900	2950	2925	0.1370	400.73
2950	3000	2975	0.2070	615.83
3000	3050	3025	0.2120	641.30
3050	3100	3075	0.2460	756.45
3100	3150	3125	0.3020	943.75
3150	3200	3175	0.3140	996.95
3200	3250	3225	0.3620	1167.45
3250	3300	3275	0.3950	1293.63
3300	3350	3325	0.4060	1349.95
3350	3400	3375	0.4420	1491.75
3400	3450	3425	0.4780	1637.15
3450	3500	3475	0.4610	1601.98
3500	3550	3525	0.4960	1748.40
3550	3600	3575	0.4760	1701.70
3600	3650	3625	0.6350	2301.88
3650	3700	3675	0.6310	2318.93
3700	3750	3725	0.5590	2082.28
3750	3800	3775	0.4520	1706.30
3800	3850	3825	0.4580	1751.85

Cota mas	Cota mas	Altitud media de cada	Área Parcial-si	(hixsi)
Baja	Alta	área parcial-hi	(Km <sup>2</sup> )	Km
3850	3900	3875	0.3890	1507.38
3900	3950	3925	0.3800	1491.50
3950	4000	3975	0.3600	1431.00
4000	4050	4025	0.4290	1726.73
4050	4100	4075	0.4390	1788.93
4100	4150	4125	0.5610	2314.13
4150	4200	4175	0.7240	3022.70
4200	4250	4225	0.8470	3578.58
4250	4300	4275	0.8050	3441.38
4300	4350	4325	0.6030	2607.98
4350	4400	4375	0.1430	625.63
Total			13.532	50564.93

- Altitud media de la subcuenca Corinto**

Cota mas	Cota mas	Altitud media de cada	Área Parcial-si	(hixsi)
Baja	Alta	área parcial-hi	(Km <sup>2</sup> )	Km
2750	2750	2750	0.0110	30.25
2750	2800	2775	0.0600	166.50
2800	2850	2825	0.0800	226.00
2850	2900	2875	0.0990	284.63
2900	2950	2925	0.1240	362.70
2950	3000	2975	0.1550	461.13
3000	3050	3025	0.1900	574.75
3050	3100	3075	0.2380	731.85
3100	3150	3125	0.2370	740.63
3150	3200	3175	0.2490	790.58
3200	3250	3225	0.2610	841.73
3250	3300	3275	0.2630	861.33
3300	3350	3325	0.3040	1010.80
3350	3400	3375	0.3510	1184.63
3400	3450	3425	0.4000	1370.00
3450	3500	3475	0.3890	1351.78
3500	3550	3525	0.4070	1434.68
3550	3600	3575	0.4010	1433.58
3600	3650	3625	0.3950	1431.88
3650	3700	3675	0.4180	1536.15
3700	3750	3725	0.3570	1329.83
3750	3800	3775	0.3310	1249.53
3800	3850	3825	0.2990	1143.68
3850	3900	3875	0.3280	1271.00
3900	3950	3925	0.2770	1087.23
3950	4000	3975	0.2960	1176.60
4000	4050	4025	0.2320	933.80
4050	4100	4075	0.2850	1161.38
4100	4150	4125	0.3610	1489.13
4150	4200	4175	0.3990	1665.83
4200	4250	4225	0.3070	1297.08

Cota mas	Cota mas	Altitud media de cada	Área Parcial-si	(hixsi)
Baja	Alta	área parcial-hi	(Km <sup>2</sup> )	Km
4250	4300	4275	0.1660	709.65
4300	4350	4325	0.0400	173.00
4350	4400	4375	0.0050	21.88
Total			8.715	31535.10

- Altitud media de la subcuenca Samerino**

Cota mas	Cota mas	Altitud media de cada	Área Parcial-si	(hixsi)
Baja	Alta	área parcial-hi	(Km <sup>2</sup> )	Km
2750	2750	2750	0.0260	71.50
2750	2800	2775	0.0630	174.83
2800	2850	2825	0.0840	237.30
2850	2900	2875	0.1260	362.25
2900	2950	2925	0.1630	476.78
2950	3000	2975	0.2030	603.93
3000	3050	3025	0.2330	704.83
3050	3100	3075	0.2800	861.00
3100	3150	3125	0.3240	1012.50
3150	3200	3175	0.3560	1130.30
3200	3250	3225	0.3660	1180.35
3250	3300	3275	0.4110	1346.03
3300	3350	3325	0.4520	1502.90
3350	3400	3375	0.4410	1488.38
3400	3450	3425	0.5390	1846.08
3450	3500	3475	0.5610	1949.48
3500	3550	3525	0.5800	2044.50
3550	3600	3575	0.6120	2187.90
3600	3650	3625	0.7100	2573.75
3650	3700	3675	0.6500	2388.75
3700	3750	3725	0.5790	2156.78
3750	3800	3775	0.6050	2283.88
3800	3850	3825	0.5500	2103.75
3850	3900	3875	0.5610	2173.88
3900	3950	3925	0.4620	1813.35
3950	4000	3975	0.5260	2090.85
4000	4050	4025	0.5250	2113.13
4050	4100	4075	0.5530	2253.48
4100	4150	4125	0.6720	2772.00
4150	4200	4175	0.5070	2116.73
4200	4250	4225	0.4530	1913.93
4250	4300	4275	0.3110	1329.53
4300	4350	4325	0.2350	1016.38
4350	4400	4375	0.1110	485.63
4400	4450	4425	0.0260	115.05
Total			13.856	50881.60

- Altitud media de la subcuenca Upamayo**

Cota mas	Cota mas	Altitud media de cada	Área Parcial-si	(hixsi)
Baja	Alta	área parcial-hi	(Km <sup>2</sup> )	Km
3250	3300	3275	10.5740	34629.85
3300	3350	3325	5.2070	17313.28
3350	3400	3375	3.8160	12879.00
3400	3450	3425	3.8870	13312.98
3450	3500	3475	4.2930	14918.18
3500	3550	3525	4.2910	15125.78
3550	3600	3575	4.6700	16695.25
3600	3650	3625	5.1820	18784.75
3650	3700	3675	5.7930	21289.28
3700	3750	3725	6.0290	22458.03
3750	3800	3775	6.6973	25282.42
3800	3850	3825	6.9318	26514.05
3850	3900	3875	6.6766	25871.79
3900	3950	3925	6.8526	26896.49
3950	4000	3975	7.5184	29885.64
4000	4050	4025	8.5434	34387.20
4050	4100	4075	9.6559	39347.83
4100	4150	4125	10.9564	45195.19
4150	4200	4175	13.3392	55690.96
4200	4250	4225	12.1910	51507.12
4250	4300	4275	5.4957	23494.27
4300	4350	4325	1.9461	8417.05
4350	4400	4375	0.5275	2307.77
4400	4450	4425	0.0819	362.19
4450	4500	4475	0.0130	58.26
Total			<b>151.169</b>	<b>582624.57</b>

- Altitud media de la subcuenca Macas**

Cota mas	Cota mas	Altitud media de cada	Área Parcial-si	(hixsi)
Baja	Alta	área parcial-hi	(Km <sup>2</sup> )	Km
3600	3650	3625	0.0540	195.75
3650	3700	3675	0.1700	624.75
3700	3750	3725	0.2940	1095.15
3750	3800	3775	0.4790	1808.23
3800	3850	3825	0.6940	2654.55
3850	3900	3875	0.9210	3568.88
3900	3950	3925	1.1300	4435.25
3950	4000	3975	1.3360	5310.60
4000	4050	4025	1.5300	6158.25
4050	4100	4075	1.7640	7188.30
4100	4150	4125	2.3800	9817.50
4150	4200	4175	2.2100	9226.75
4200	4250	4225	1.9290	8150.03

Cota mas	Cota mas	Altitud media de cada	Área Parcial-si	(hixsi)
Baja	Alta	área parcial-hi	(Km <sup>2</sup> )	Km
4250	4300	4275	1.3360	5711.40
4300	4350	4325	0.5950	2573.38
4350	4400	4375	0.0660	288.75
Total			<b>16.888</b>	<b>68807.50</b>

- Altitud media de la subcuenca Inico**

Cota mas	Cota mas	Altitud media de cada	Área Parcial-si	(hixsi)
Baja	Alta	área parcial-hi	(Km <sup>2</sup> )	Km
2000	2050	2025	0.0020	4.05
2050	2100	2075	0.0420	87.15
2100	2150	2125	0.0480	102.00
2150	2200	2175	0.0630	137.03
2200	2250	2225	0.0870	193.58
2250	2300	2275	0.1090	247.98
2300	2350	2325	0.1420	330.15
2350	2400	2375	0.1550	368.13
2400	2450	2425	0.1800	436.50
2450	2500	2475	0.2200	544.50
2500	2550	2525	0.2350	593.38
2550	2600	2575	0.2760	710.70
2600	2650	2625	0.2910	763.88
2650	2700	2675	0.3650	976.38
2700	2750	2725	0.3900	1062.75
2750	2800	2775	0.4140	1148.85
2800	2850	2825	0.3980	1124.35
2850	2900	2875	0.3980	1144.25
2900	2950	2925	0.4460	1304.55
2950	3000	2975	0.4570	1359.58
3000	3050	3025	0.4570	1382.43
3050	3100	3075	0.4980	1531.35
3100	3150	3125	0.5300	1656.25
3150	3200	3175	0.5260	1670.05
3200	3250	3225	0.5200	1677.00
3250	3300	3275	0.5680	1860.20
3300	3350	3325	0.5620	1868.65
3350	3400	3375	0.6840	2308.50
3400	3450	3425	0.6810	2332.43
3450	3500	3475	0.7830	2720.93
3500	3550	3525	0.6820	2404.05
3550	3600	3575	0.6410	2291.58
3600	3650	3625	0.4740	1718.25
3650	3700	3675	0.4620	1697.85
3700	3750	3725	0.3600	1341.00
3750	3800	3775	0.3530	1332.58
3800	3850	3825	0.2990	1143.68
3850	3900	3875	0.3460	1340.75
3900	3950	3925	0.2400	942.00



Cota mas	Cota mas	Altitud media de cada	Área Parcial-si	(hixsi)
Baja	Alta	área parcial-hi	(Km <sup>2</sup> )	Km
3950	4000	3975	0.2320	922.20
4000	4050	4025	0.2160	869.40
4050	4100	4075	0.2470	1006.53
4100	4150	4125	0.2960	1221.00
4150	4200	4175	0.3970	1657.48
4200	4250	4225	0.4110	1736.48
4250	4300	4275	0.2850	1218.38
4300	4350	4325	0.0630	272.48
Total			16.531	54763.13

- Altitud media de la subcuenca Cuchicancha**

Cota mas	Cota mas	Altitud media de cada	Área Parcial-si	(hixsi)
Baja	Alta	área parcial-hi	(Km <sup>2</sup> )	Km
2200	2250	2225	0.0040	8.90
2250	2300	2275	0.0270	61.43
2300	2350	2325	0.0420	97.65
2350	2400	2375	0.0360	85.50
2400	2450	2425	0.0480	116.40
2450	2500	2475	0.0550	136.13
2500	2550	2525	0.0730	184.33
2550	2600	2575	0.0720	185.40
2600	2650	2625	0.0850	223.13
2650	2700	2675	0.1000	267.50
2700	2750	2725	0.1110	302.48
2750	2800	2775	0.1310	363.53
2800	2850	2825	0.1190	336.18
2850	2900	2875	0.1410	405.38
2900	2950	2925	0.1590	465.08
2950	3000	2975	0.2100	624.75
3000	3050	3025	0.2940	889.35
3050	3100	3075	0.4180	1285.35
3100	3150	3125	0.5480	1712.50
3150	3200	3175	0.7120	2260.60
3200	3250	3225	0.9500	3063.75
3250	3300	3275	1.1480	3759.70
3300	3350	3325	1.1450	3807.13
3350	3400	3375	1.2450	4201.88
3400	3450	3425	1.2800	4384.00
3450	3500	3475	1.3130	4562.68
3500	3550	3525	1.4670	5171.18
3550	3600	3575	1.4270	5101.53
3600	3650	3625	1.3560	4915.50
3650	3700	3675	1.3750	5053.13
3700	3750	3725	1.4020	5222.45
3750	3800	3775	1.4530	5485.08
3800	3850	3825	1.4520	5553.90
3850	3900	3875	1.5640	6060.50

3900	3950	3925	1.4330	5624.53
3950	4000	3975	1.3800	5485.50
4000	4050	4025	1.2480	5023.20
4050	4100	4075	1.3360	5444.20
4100	4150	4125	1.0770	4442.63
4150	4200	4175	1.2310	5139.43
4200	4250	4225	1.2020	5078.45
4250	4300	4275	0.5730	2449.58
4300	4350	4325	0.1080	467.10
4350	4400	4375	0.0020	8.75
Total			31.552	115517.25

### 11.1.3 Pendiente media de la cuenca

- Pendiente media de la subcuenca Anta**

Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
4350	0.090	4325	4375	0.05	0.004
4300	0.965	4275	4325	0.05	0.048
4300	0.072	4275	4325	0.05	0.004
4300	0.200	4275	4325	0.05	0.010
4350	0.814	4325	4375	0.05	0.041
4300	3.782	4275	4325	0.05	0.189
4250	5.394	4225	4275	0.05	0.270
4150	5.886	4125	4175	0.05	0.294
4050	5.402	4025	4075	0.05	0.270
4000	5.161	3975	4025	0.05	0.258
3950	5.084	3925	3975	0.05	0.254
3850	4.804	3825	3875	0.05	0.240
3800	4.833	3775	3825	0.05	0.242
3750	4.834	3725	3775	0.05	0.242
3700	4.770	3675	3725	0.05	0.239
3650	4.769	3625	3675	0.05	0.238
3600	4.988	3575	3625	0.05	0.249
3550	5.032	3525	3575	0.05	0.252
3500	4.846	3475	3525	0.05	0.242
3450	4.788	3425	3475	0.05	0.239
3400	4.697	3375	3425	0.05	0.235
3300	4.206	3275	3325	0.05	0.210
3250	4.078	3225	3275	0.05	0.204
3050	2.587	3025	3075	0.05	0.129
2850	0.800	2825	2875	0.05	0.040
4350	0.134	4325	4375	0.05	0.007
4300	0.006	4275	4325	0.05	0.000
4350	1.379	4325	4375	0.05	0.069
4200	6.263	4175	4225	0.05	0.313
4100	5.762	4075	4125	0.05	0.288

Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
3900	4.953	3875	3925	0.05	0.248
3350	4.375	3325	3375	0.05	0.219
3200	3.805	3175	3225	0.05	0.190
3150	3.519	3125	3175	0.05	0.176
3100	3.008	3075	3125	0.05	0.150
3000	2.186	2975	3025	0.05	0.109
2950	1.892	2925	2975	0.05	0.095
2900	1.296	2875	2925	0.05	0.065
2800	0.264	2775	2825	0.05	0.013
4150	0.370	4125	4175	0.05	0.018
2750	0.084	2725	2775	0.05	0.004
Total					6.61

$$S = \frac{DL}{A} \quad S = \frac{6.61}{13.53} = 49$$

- **Pendiente media de la subcuenca Corinto**

Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
4350	0.163	4325	4375	0.05	0.008
4300	0.612	4275	4325	0.05	0.031
4300	0.073	4275	4325	0.05	0.004
4300	0.234	4275	4325	0.05	0.012
4250	2.191	4225	4275	0.05	0.110
4150	2.827	4125	4175	0.05	0.141
4050	2.423	4025	4075	0.05	0.121
4000	2.479	3975	4025	0.05	0.124
3950	2.639	3925	3975	0.05	0.132
3850	2.903	3825	3875	0.05	0.145
3800	3.328	3775	3825	0.05	0.166
3750	3.530	3725	3775	0.05	0.176
3700	3.750	3675	3725	0.05	0.188
3650	4.008	3625	3675	0.05	0.200
3600	4.012	3575	3625	0.05	0.201
3550	4.021	3525	3575	0.05	0.201
3500	3.890	3475	3525	0.05	0.195
3450	3.700	3425	3475	0.05	0.185
3400	3.576	3375	3425	0.05	0.179
3300	3.116	3275	3325	0.05	0.156
3250	3.000	3225	3275	0.05	0.150
3050	2.509	3025	3075	0.05	0.125
2850	1.091	2825	2875	0.05	0.055
4200	2.811	4175	4225	0.05	0.141
4100	2.682	4075	4125	0.05	0.134

Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
3900	2.821	3875	3925	0.05	0.141
3350	3.225	3325	3375	0.05	0.161
3200	2.822	3175	3225	0.05	0.141
3150	2.576	3125	3175	0.05	0.129
3100	2.358	3075	3125	0.05	0.118
3000	2.264	2975	3025	0.05	0.113
2950	2.059	2925	2975	0.05	0.103
2900	1.557	2875	2925	0.05	0.078
2800	0.777	2775	2825	0.05	0.039
2750	0.200	2725	2775	0.05	0.010
Total					4.31

$$S = \frac{DL}{A} \quad S = \frac{4.31}{15.29} = 28$$

- Pendiente media de la subcuenca Samerino**

Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
4400	0.266	4375	4425	0.05	0.266
4350	0.189	4325	4375	0.05	0.189
4350	1.191	4325	4375	0.05	1.191
4250	3.035	4225	4275	0.05	3.035
4250	0.928	4225	4275	0.05	0.928
4200	4.814	4175	4225	0.05	4.814
4150	6.030	4125	4175	0.05	6.030
4050	5.898	4025	4075	0.05	5.898
4000	5.948	3975	4025	0.05	5.948
3950	5.859	3925	3975	0.05	5.859
3850	6.162	3825	3875	0.05	6.162
3800	6.533	3775	3825	0.05	6.533
3750	6.593	3725	3775	0.05	6.593
3700	6.646	3675	3725	0.05	6.646
3650	7.372	3625	3675	0.05	7.372
3600	7.185	3575	3625	0.05	7.185
3550	6.955	3525	3575	0.05	6.955
3500	6.621	3475	3525	0.05	6.621
3450	6.180	3425	3475	0.05	6.180
3400	6.011	3375	3425	0.05	6.011
3300	5.415	3275	3325	0.05	5.415
3250	5.012	3225	3275	0.05	5.012
3050	3.235	3025	3075	0.05	3.235
2850	1.401	2825	2875	0.05	1.401
4400	0.714	4375	4425	0.05	0.714
4400	0.005	4375	4425	0.05	0.005
4350	0.109	4325	4375	0.05	0.109

Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
4300	2.362	4275	4325	0.05	2.362
4200	0.045	4175	4225	0.05	0.045
4100	6.091	4075	4125	0.05	6.091
3900	5.879	3875	3925	0.05	5.879
3750	0.021	3725	3775	0.05	0.021
3550	0.064	3525	3575	0.05	0.064
3500	0.056	3475	3525	0.05	0.056
3350	5.701	3325	3375	0.05	5.701
3200	4.640	3175	3225	0.05	4.640
3150	4.247	3125	3175	0.05	4.247
3100	3.648	3075	3125	0.05	3.648
3000	2.986	2975	3025	0.05	2.986
2950	2.564	2925	2975	0.05	2.564
2900	2.041	2875	2925	0.05	2.041
2800	0.746	2775	2825	0.05	0.746
2750	0.625	2725	2775	0.05	0.625
Total					158.02

$$S = \frac{DL}{A} \quad S = \frac{158}{16.43} = 10$$

- Pendiente media de la subcuenca Upamayo**

Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
4150	0.780	4125	4175	0.05	0.039
4500	0.027	4475	4525	0.05	0.001
4450	0.236	4425	4475	0.05	0.012
4350	0.165	4325	4375	0.05	0.008
4350	1.910	4325	4375	0.05	0.096
4250	3.515	4225	4275	0.05	0.176
3750	60.450	3725	3775	0.05	3.023
4250	0.965	4225	4275	0.05	0.048
3800	64.290	3775	3825	0.05	3.215
4200	5.419	4175	4225	0.05	0.271
3900	63.253	3875	3925	0.05	3.163
3650	58.693	3625	3675	0.05	2.935
3400	37.316	3375	3425	0.05	1.866
4000	68.925	3975	4025	0.05	3.446
4350	0.167	4325	4375	0.05	0.008
4300	0.904	4275	4325	0.05	0.045
4300	1.776	4275	4325	0.05	0.089
4250	4.387	4225	4275	0.05	0.219
4150	38.977	4125	4175	0.05	1.949
4200	27.445	4175	4225	0.05	1.372

Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
4300	1.041	4275	4325	0.05	0.052
4300	0.075	4275	4325	0.05	0.004
4250	0.298	4225	4275	0.05	0.015
4300	1.361	4275	4325	0.05	0.068
4300	0.244	4275	4325	0.05	0.012
4250	0.494	4225	4275	0.05	0.025
4300	0.304	4275	4325	0.05	0.015
4250	10.890	4225	4275	0.05	0.545
4250	1.798	4225	4275	0.05	0.090
4250	0.494	4225	4275	0.05	0.025
4350	0.491	4325	4375	0.05	0.025
4300	1.388	4275	4325	0.05	0.069
4250	0.877	4225	4275	0.05	0.044
4200	2.953	4175	4225	0.05	0.148
4250	0.270	4225	4275	0.05	0.014
4250	4.040	4225	4275	0.05	0.202
4200	0.538	4175	4225	0.05	0.027
3900	0.872	3875	3925	0.05	0.044
4200	1.082	4175	4225	0.05	0.054
3800	0.795	3775	3825	0.05	0.040
3750	1.653	3725	3775	0.05	0.083
4150	0.273	4125	4175	0.05	0.014
3300	20.019	3275	3325	0.05	1.001
3350	31.780	3325	3375	0.05	1.589
4450	0.109	4425	4475	0.05	0.005
4500	0.027	4475	4525	0.05	0.001
4250	0.339	4225	4275	0.05	0.017
4400	1.646	4375	4425	0.05	0.082
4200	1.593	4175	4225	0.05	0.080
4300	3.005	4275	4325	0.05	0.150
4250	0.014	4225	4275	0.05	0.001
4300	1.064	4275	4325	0.05	0.053
4200	0.724	4175	4225	0.05	0.036
4250	2.452	4225	4275	0.05	0.123
4200	0.003	4175	4225	0.05	0.000
3850	64.267	3825	3875	0.05	3.213
4250	0.340	4225	4275	0.05	0.017
4300	0.317	4275	4325	0.05	0.016
3450	41.131	3425	3475	0.05	2.057
4100	1.113	4075	4125	0.05	0.056
4250	0.571	4225	4275	0.05	0.029
3950	63.874	3925	3975	0.05	3.194
4250	0.920	4225	4275	0.05	0.046
4350	0.739	4325	4375	0.05	0.037
4300	0.487	4275	4325	0.05	0.024

Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
4300	0.576	4275	4325	0.05	0.029
4400	0.417	4375	4425	0.05	0.021
4250	3.104	4225	4275	0.05	0.155
4350	0.957	4325	4375	0.05	0.048
4350	1.291	4325	4375	0.05	0.065
4300	4.741	4275	4325	0.05	0.237
4250	7.183	4225	4275	0.05	0.359
4200	15.701	4175	4225	0.05	0.785
4200	11.524	4175	4225	0.05	0.576
4100	38.435	4075	4125	0.05	1.922
3550	49.033	3525	3575	0.05	2.452
4150	32.165	4125	4175	0.05	1.608
3500	45.233	3475	3525	0.05	2.262
3700	61.831	3675	3725	0.05	3.092
3600	54.624	3575	3625	0.05	2.731
4150	32.165	4125	4175	0.05	1.608
4100	32.437	4075	4125	0.05	1.622
4050	70.311	4025	4075	0.05	3.516
Total					58.51

$$S = \frac{DL}{A} \quad S = \frac{58.51}{62.817} = 93$$

- Pendiente media de la subcuenca Macas**

Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
4300	0.643	4275	4325	0.05	0.032
4300	0.095	4275	4325	0.05	0.005
4300	1.103	4275	4325	0.05	0.055
4350	0.157	4325	4375	0.05	0.008
4300	0.060	4275	4325	0.05	0.003
4350	1.351	4325	4375	0.05	0.068
4300	3.029	4275	4325	0.05	0.151
4250	9.282	4225	4275	0.05	0.464
4250	1.639	4225	4275	0.05	0.082
4150	1.230	4125	4175	0.05	0.061
3750	4.386	3725	3775	0.05	0.219
3800	6.966	3775	3825	0.05	0.348
3900	11.272	3875	3925	0.05	0.564
3650	1.072	3625	3675	0.05	0.054
4000	14.856	3975	4025	0.05	0.743
4200	14.228	4175	4225	0.05	0.711
4300	0.447	4275	4325	0.05	0.022
4300	1.970	4275	4325	0.05	0.099
4250	1.683	4225	4275	0.05	0.084
4250	0.830	4225	4275	0.05	0.042

Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
4200	2.671	4175	4225	0.05	0.134
4150	0.014	4125	4175	0.05	0.001
3850	9.279	3825	3875	0.05	0.464
3950	12.938	3925	3975	0.05	0.647
4150	8.551	4125	4175	0.05	0.428
3700	2.634	3675	3725	0.05	0.132
4150	18.728	4125	4175	0.05	0.936
4100	18.655	4075	4125	0.05	0.933
4050	16.194	4025	4075	0.05	0.810
Total					8.30

$$S = \frac{DL}{A} \quad S = \frac{8.30}{19.9} = 41$$

- Pendiente media de la subcuenca Inico**

Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
4300	0.643	4275	4325	0.05	0.032
4300	0.095	4275	4325	0.05	0.005
4300	1.103	4275	4325	0.05	0.055
4350	0.157	4325	4375	0.05	0.008
4300	0.060	4275	4325	0.05	0.003
4350	1.351	4325	4375	0.05	0.068
4300	3.029	4275	4325	0.05	0.151
4250	9.282	4225	4275	0.05	0.464
4250	1.639	4225	4275	0.05	0.082
4150	1.230	4125	4175	0.05	0.061
3750	4.386	3725	3775	0.05	0.219
3800	6.966	3775	3825	0.05	0.348
3900	11.272	3875	3925	0.05	0.564
3650	1.072	3625	3675	0.05	0.054
4000	14.856	3975	4025	0.05	0.743
4200	14.228	4175	4225	0.05	0.711
4300	0.447	4275	4325	0.05	0.022
4300	1.970	4275	4325	0.05	0.099
4250	1.683	4225	4275	0.05	0.084
4250	0.830	4225	4275	0.05	0.042
4200	2.671	4175	4225	0.05	0.134
4150	0.014	4125	4175	0.05	0.001
3850	9.279	3825	3875	0.05	0.464
3950	12.938	3925	3975	0.05	0.647
4150	8.551	4125	4175	0.05	0.428
3700	2.634	3675	3725	0.05	0.132
4150	18.728	4125	4175	0.05	0.936
4100	18.655	4075	4125	0.05	0.933



Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
4050	16.194	4025	4075	0.05	0.810
Total					8.30

$$S = \frac{DL}{A} \quad S = \frac{8.30}{17.89} = 46$$

- Pendiente media de la subcuenca Cuchicancha**

Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
3600	0.246	3575	3625	0.05	0.012
3550	1.302	3525	3575	0.05	0.065
4300	0.110	4275	4325	0.05	0.006
4100	1.355	4075	4125	0.05	0.068
2250	0.068	2225	2275	0.05	0.003
2300	0.329	2275	2325	0.05	0.016
2400	0.458	2375	2425	0.05	0.023
2500	0.641	2475	2525	0.05	0.032
2550	0.627	2525	2575	0.05	0.031
2600	0.628	2575	2625	0.05	0.031
4350	0.099	4325	4375	0.05	0.005
2650	0.653	2625	2675	0.05	0.033
2700	0.652	2675	2725	0.05	0.033
2800	0.691	2775	2825	0.05	0.035
2850	0.725	2825	2875	0.05	0.036
4300	0.065	4275	4325	0.05	0.003
2900	0.766	2875	2925	0.05	0.038
2950	0.868	2925	2975	0.05	0.043
3000	1.143	2975	3025	0.05	0.057
4300	1.231	4275	4325	0.05	0.062
4250	1.270	4225	4275	0.05	0.064
4250	2.490	4225	4275	0.05	0.125
3050	1.592	3025	3075	0.05	0.080
3100	2.125	3075	3125	0.05	0.106
3150	2.866	3125	3175	0.05	0.143
3200	3.456	3175	3225	0.05	0.173
3250	4.180	3225	3275	0.05	0.209
3750	16.074	3725	3775	0.05	0.804
3800	15.929	3775	3825	0.05	0.796
3900	15.430	3875	3925	0.05	0.772
3650	15.478	3625	3675	0.05	0.774
3400	12.928	3375	3425	0.05	0.646
4000	12.947	3975	4025	0.05	0.647
4200	9.545	4175	4225	0.05	0.477
4200	0.074	4175	4225	0.05	0.004
4250	0.331	4225	4275	0.05	0.017

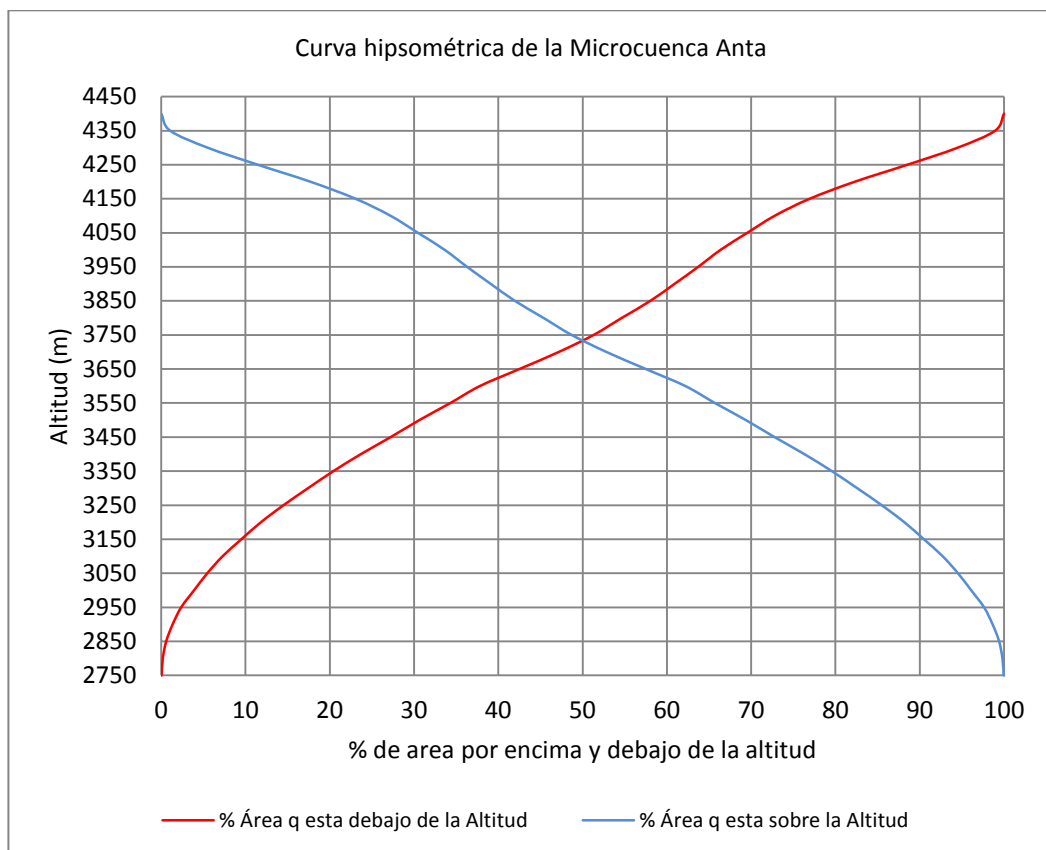
Altitud	Longitud_CN	Cota_menor	Cota_mayor	Diferencia	DL
msnm	Km	msnm	msnm	Km	Km
2250	0.053	2225	2275	0.05	0.003
2300	0.259	2275	2325	0.05	0.013
2350	0.734	2325	2375	0.05	0.037
2400	0.411	2375	2425	0.05	0.021
2450	1.128	2425	2475	0.05	0.056
2500	0.618	2475	2525	0.05	0.031
2550	0.720	2525	2575	0.05	0.036
2600	0.766	2575	2625	0.05	0.038
2650	0.828	2625	2675	0.05	0.041
4300	0.232	4275	4325	0.05	0.012
2700	0.952	2675	2725	0.05	0.048
2750	1.725	2725	2775	0.05	0.086
2800	1.164	2775	2825	0.05	0.058
2850	1.222	2825	2875	0.05	0.061
2900	1.341	2875	2925	0.05	0.067
2950	1.538	2925	2975	0.05	0.077
4300	0.323	4275	4325	0.05	0.016
4300	0.356	4275	4325	0.05	0.018
3000	1.693	2975	3025	0.05	0.085
4300	0.011	4275	4325	0.05	0.001
4250	1.836	4225	4275	0.05	0.092
4250	0.756	4225	4275	0.05	0.038
3050	2.011	3025	3075	0.05	0.101
3100	2.701	3075	3125	0.05	0.135
3150	3.905	3125	3175	0.05	0.195
3200	4.785	3175	3225	0.05	0.239
3250	5.560	3225	3275	0.05	0.278
4100	5.129	4075	4125	0.05	0.256
3300	11.478	3275	3325	0.05	0.574
3350	12.212	3325	3375	0.05	0.611
3850	16.065	3825	3875	0.05	0.803
3450	13.551	3425	3475	0.05	0.678
3950	14.544	3925	3975	0.05	0.727
3550	14.266	3525	3575	0.05	0.713
3500	14.665	3475	3525	0.05	0.733
3700	15.684	3675	3725	0.05	0.784
3600	14.886	3575	3625	0.05	0.744
4150	10.069	4125	4175	0.05	0.503
4100	9.967	4075	4125	0.05	0.498
4050	12.863	4025	4075	0.05	0.643
Total					16.62

$$S = \frac{DL}{A} \quad S = \frac{16.62}{24.77} = 67$$

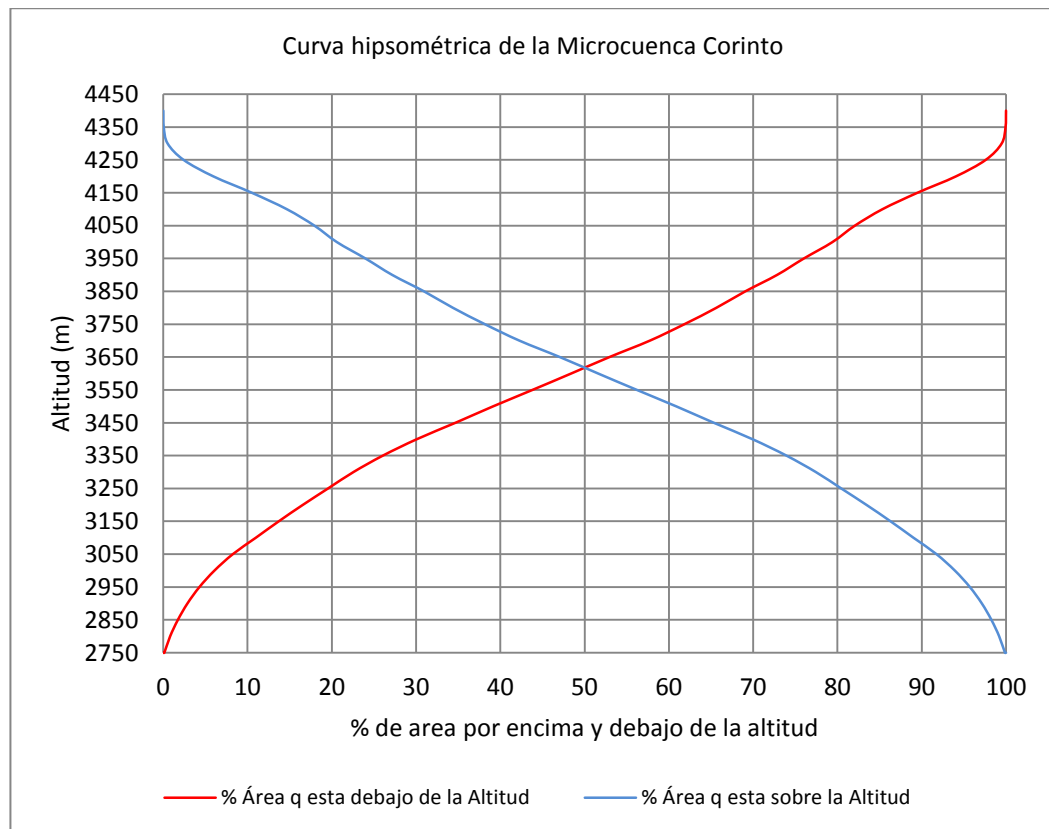
## 11.2 Anexo de Figuras

### 11.2.1 Curva Hipsométrica

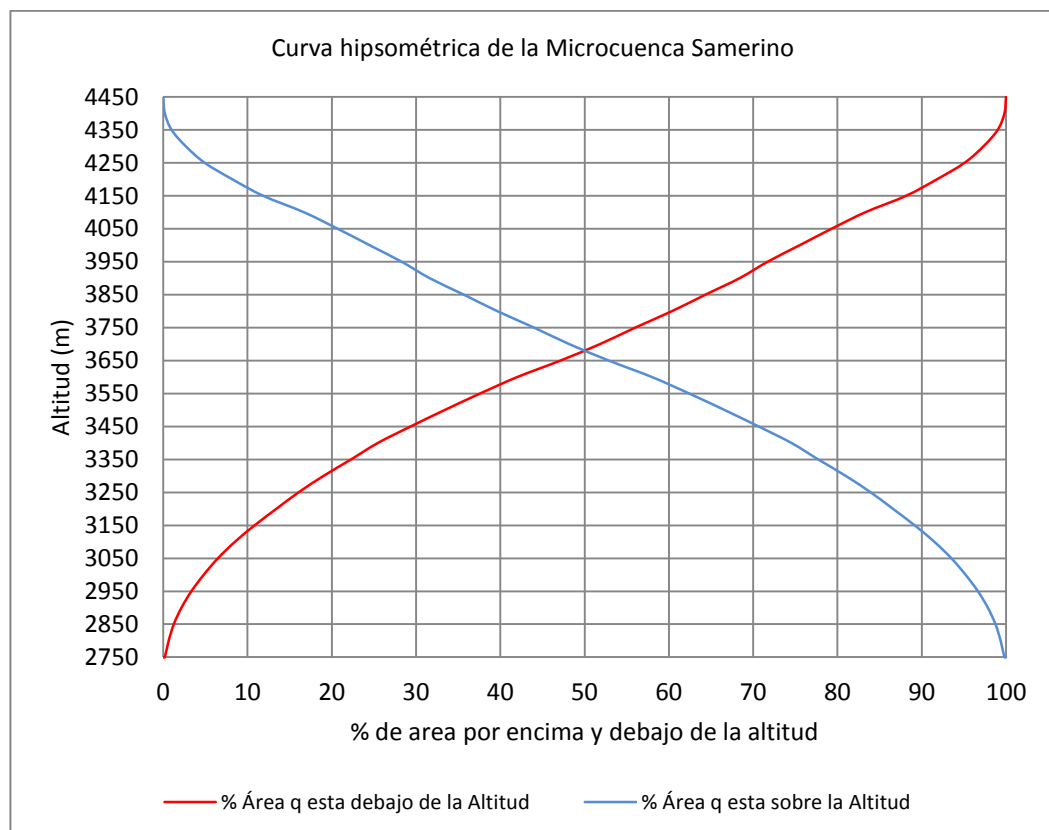
- **Curva hipsométrica de la subcuenca Anta**



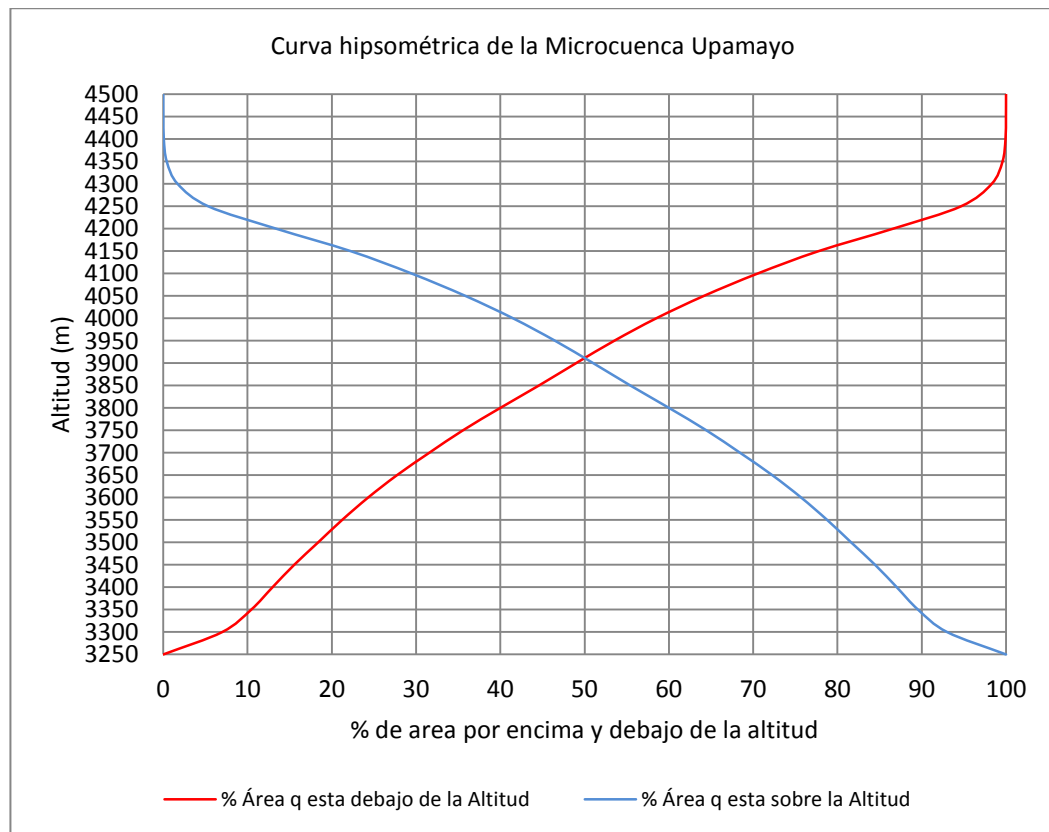
- **Curva hipsométrica de la subcuenca Corinto**



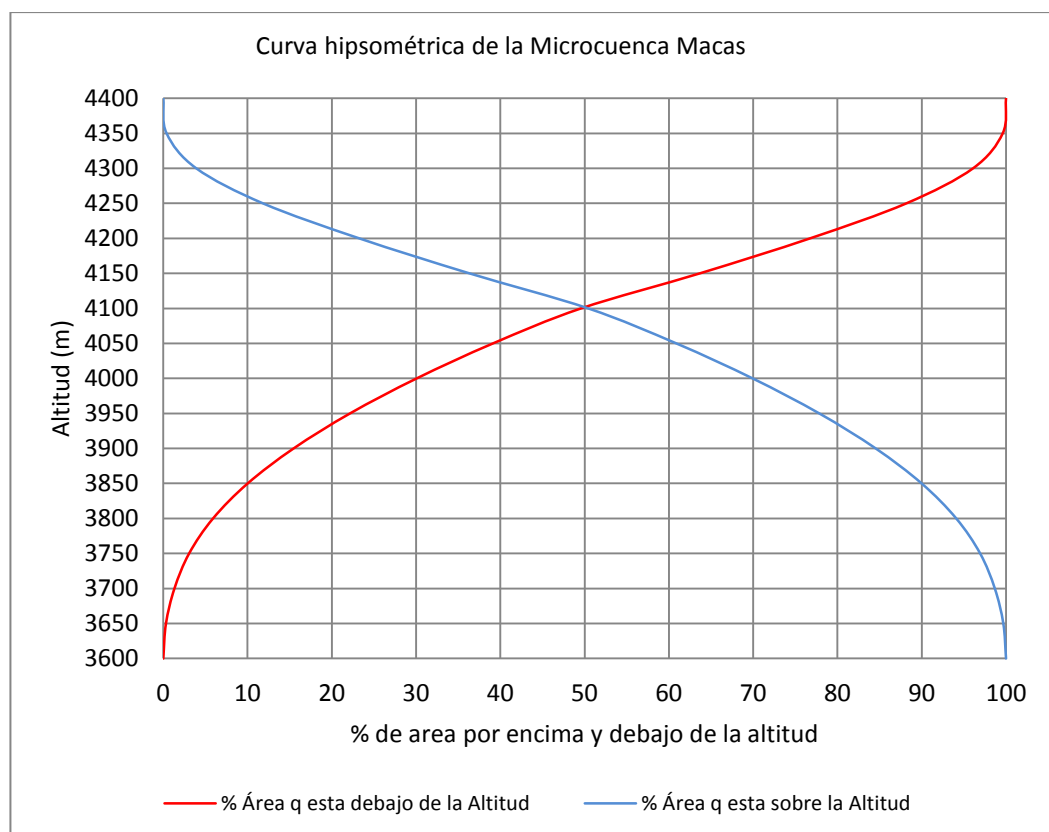
- Curva hipsométrica de la subcuenca Samerino**



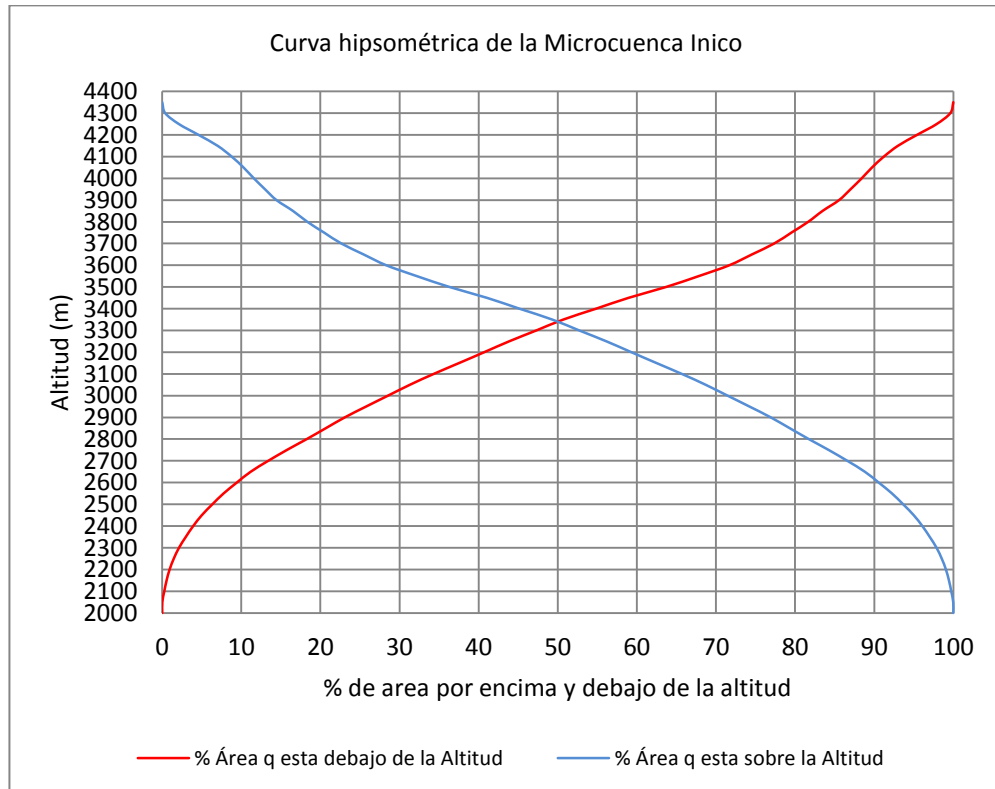
- Curva hipsométrica de la subcuenca Upamayo**



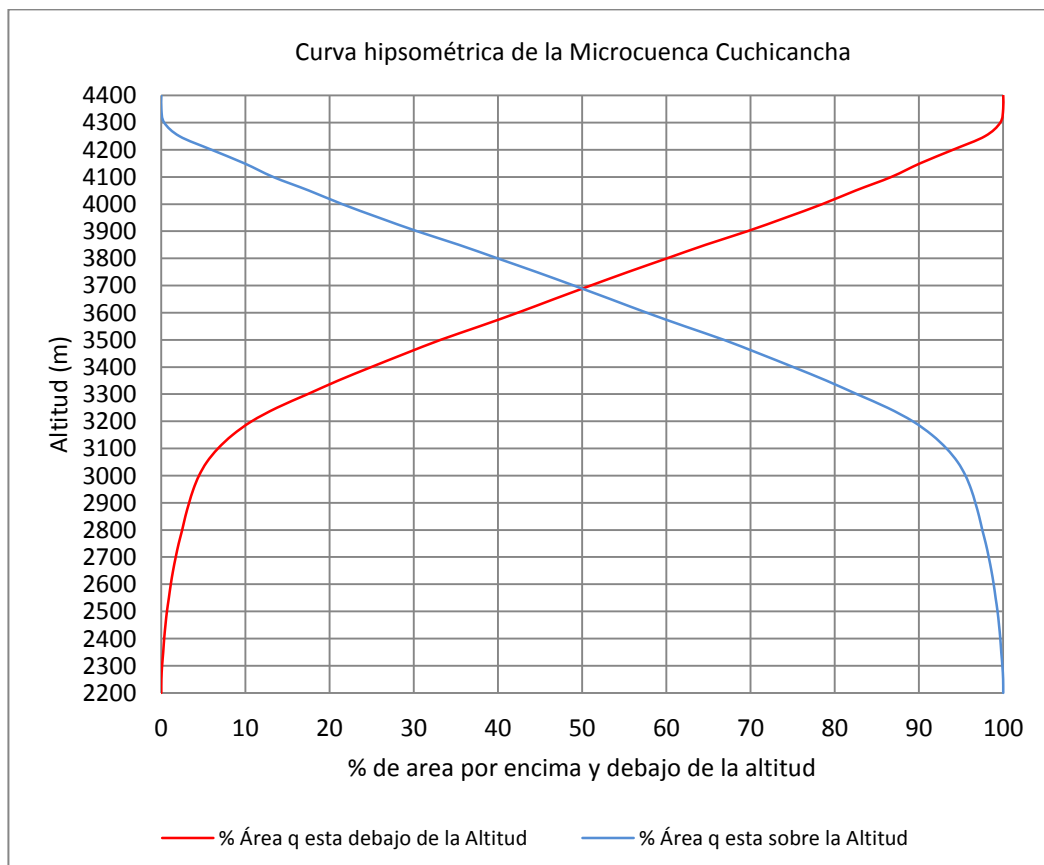
- Curva hipsométrica de la subcuenca Macas**



- **Curva hipsométrica de la subcuenca Inico**

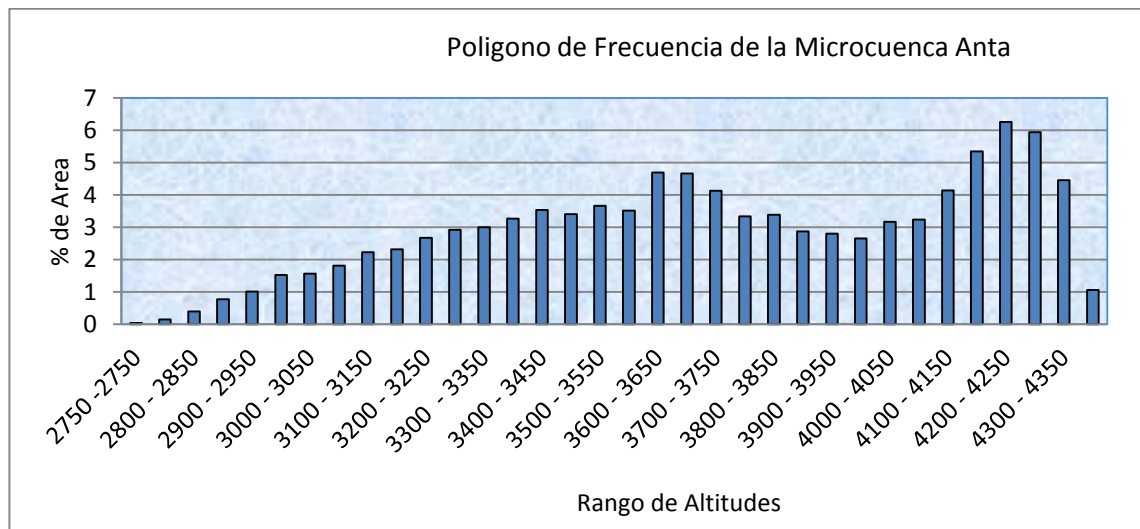


- **Curva hipsométrica de la subcuenca Cuchicancha**

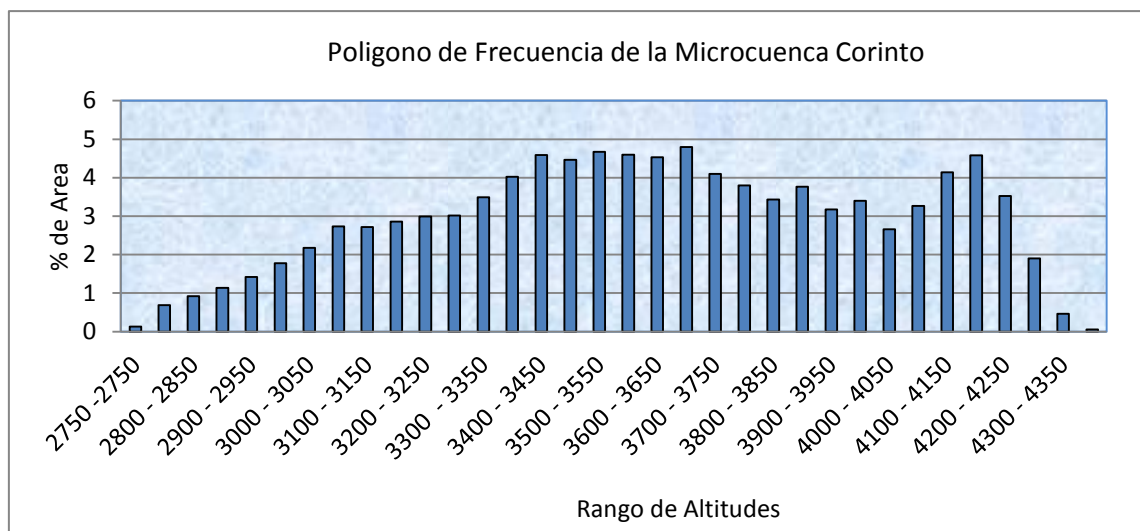


## 11.2.2 Polígono de Frecuencia

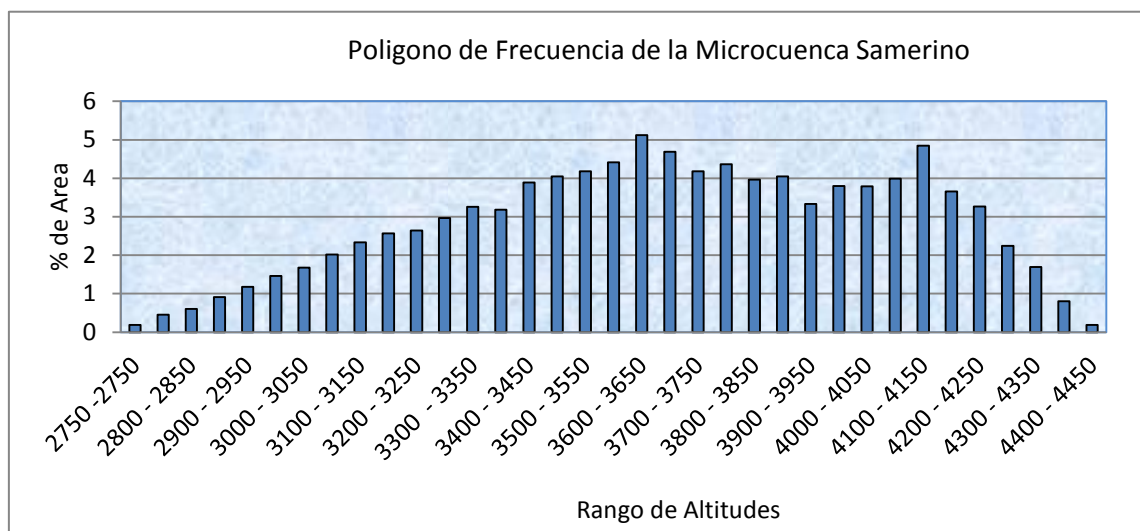
- Polígono de frecuencia de la subcuenca Anta**



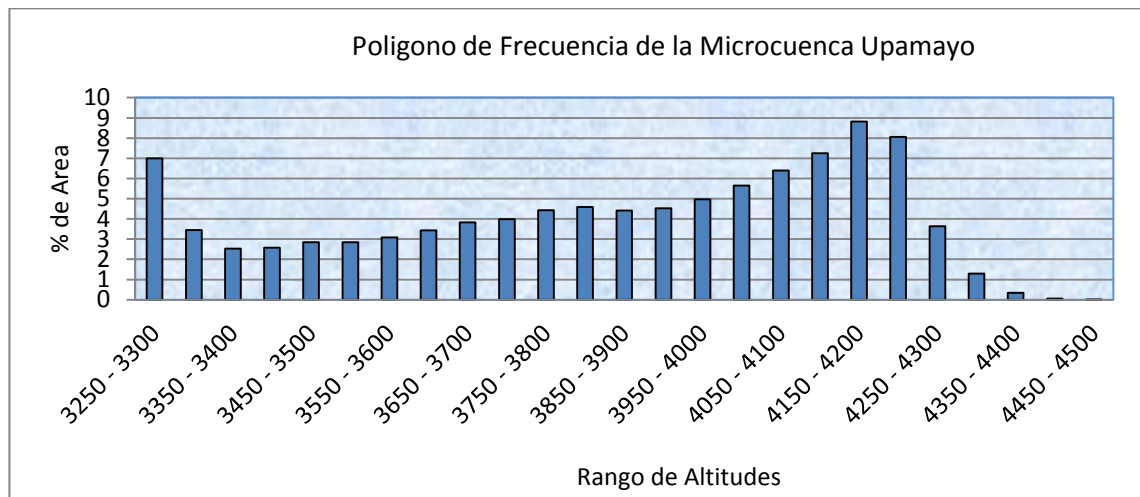
- Polígono de frecuencia de la subcuenca Corinto**



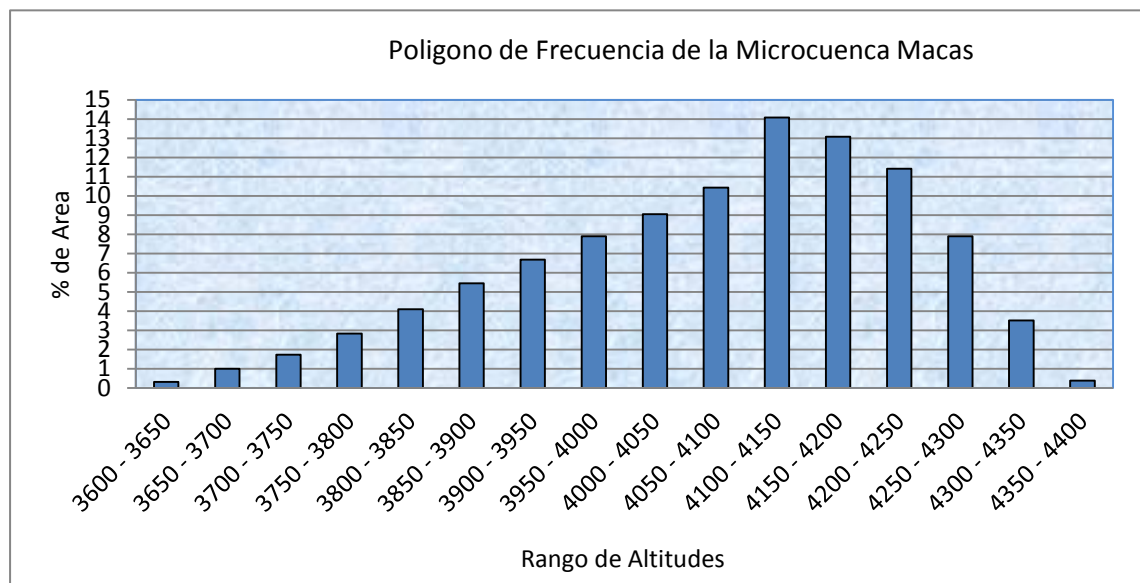
- Polígono de frecuencia de la subcuenca Samerino**



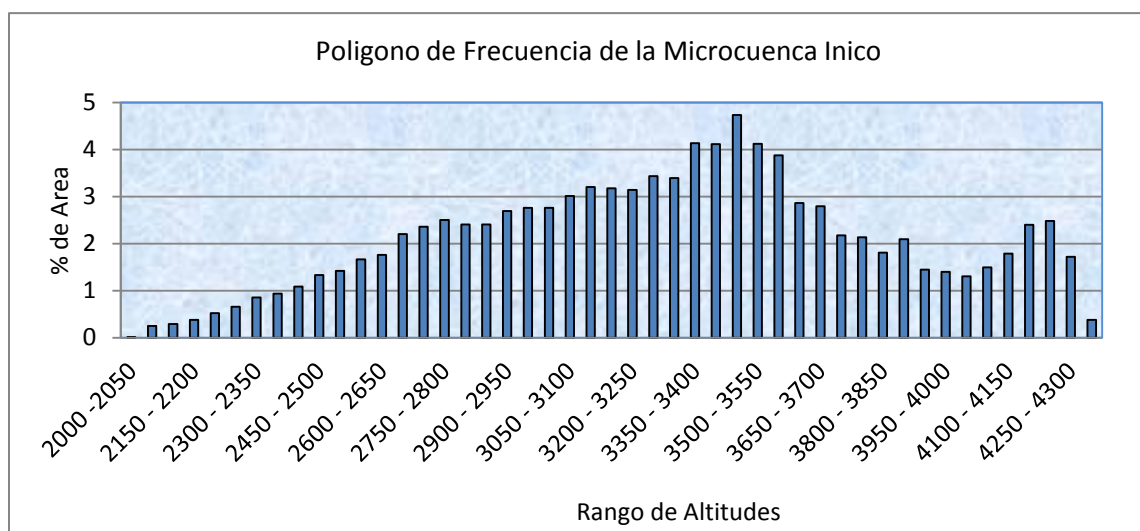
- **Polígono de frecuencia de la subcuenca Upamayo**



- **Polígono de frecuencia de la subcuenca Macas**

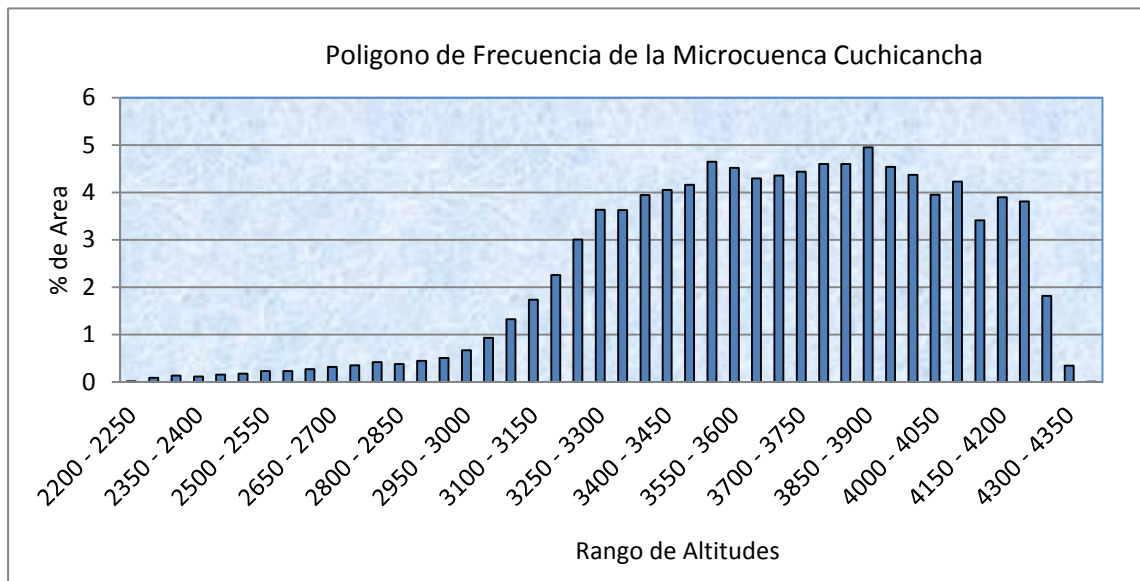


**Polígono de frecuencia de la subcuenca Inico**



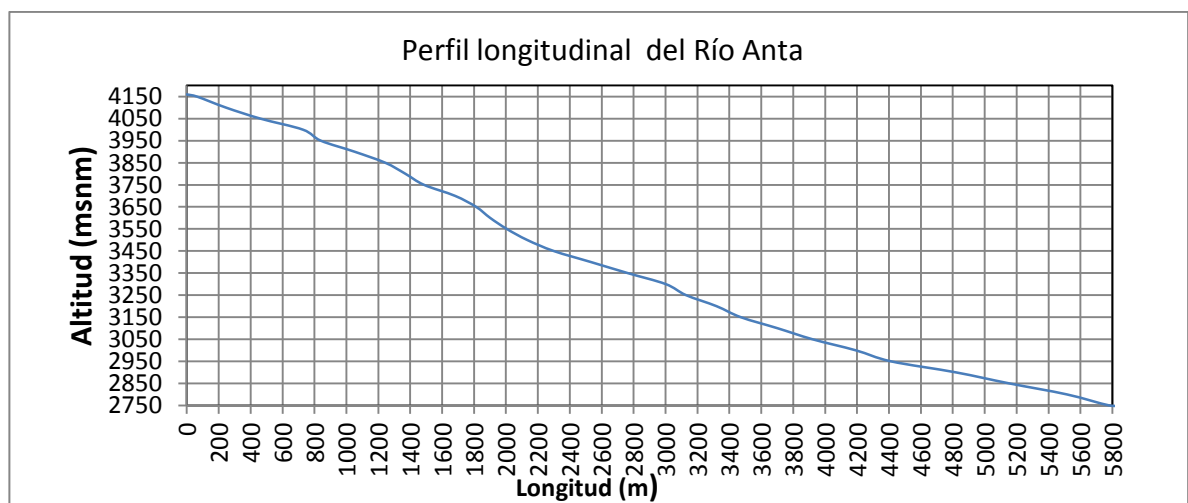


- **Polígono de frecuencia de la subcuenca Cuchicancha**

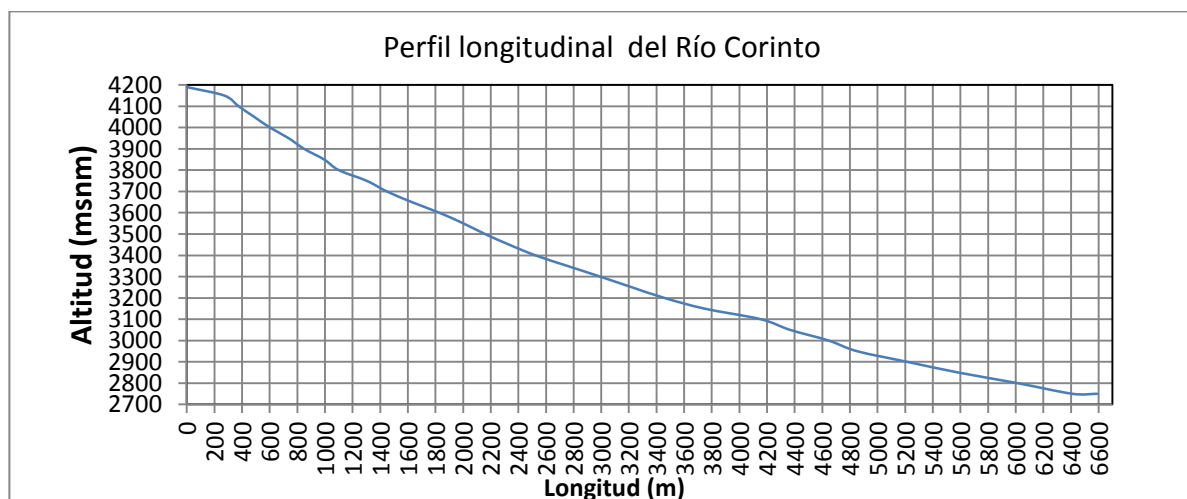


### 11.2.3 Perfil Longitudinal

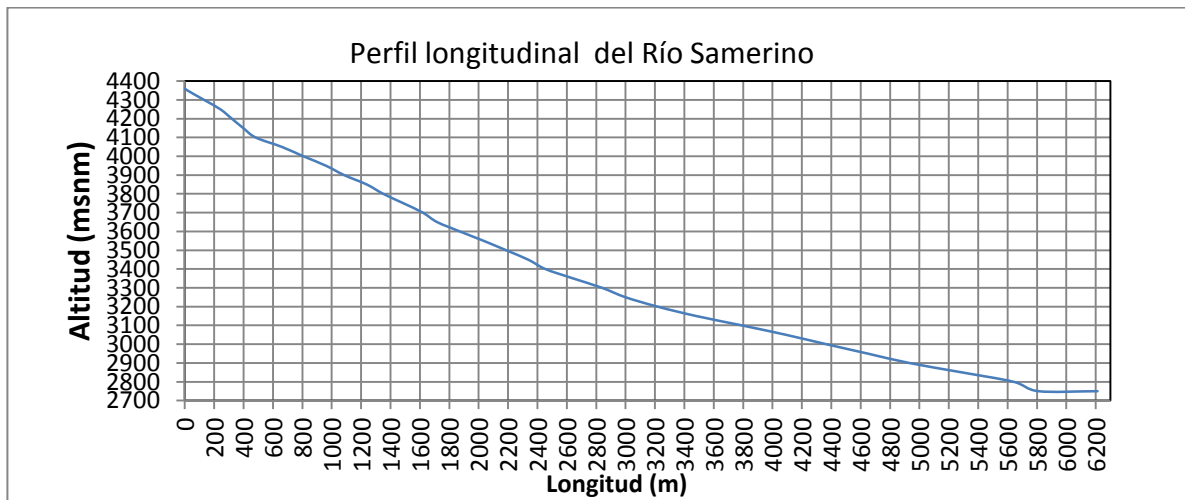
- **Perfil longitudinal del río Anta**



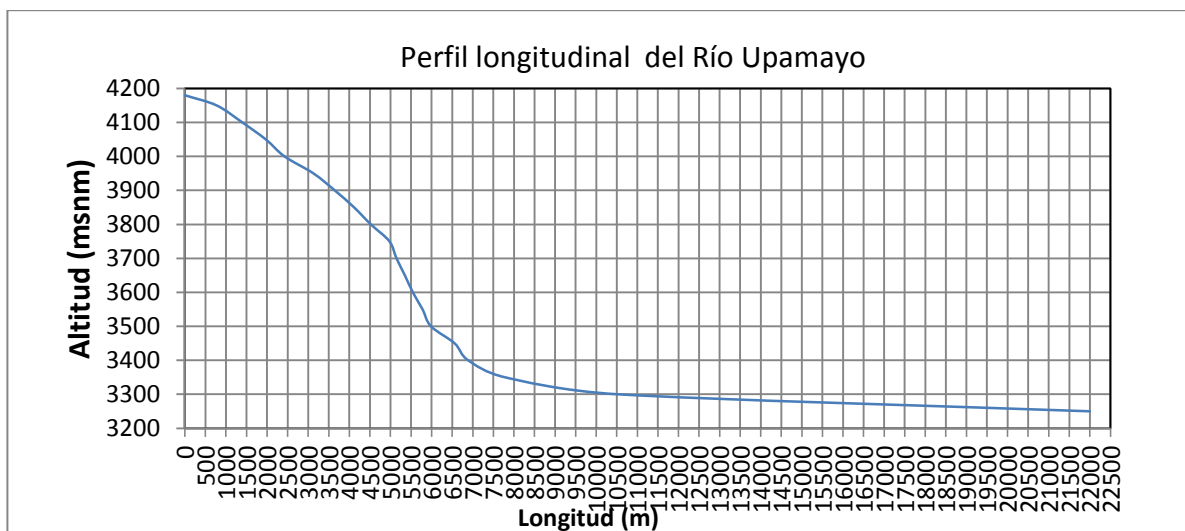
- **Perfil longitudinal del río Corinto**



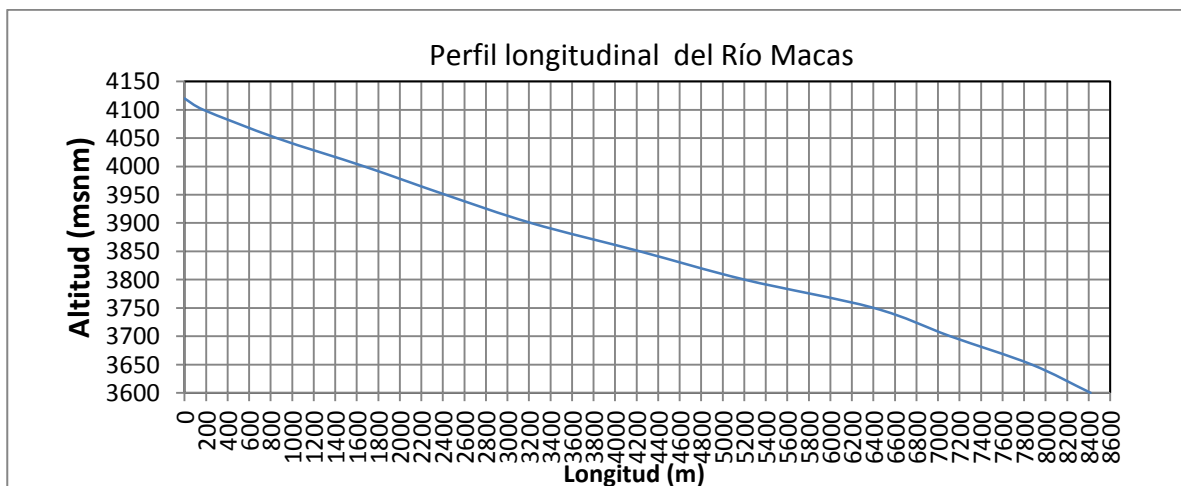
- **Perfil longitudinal del río Samerino**



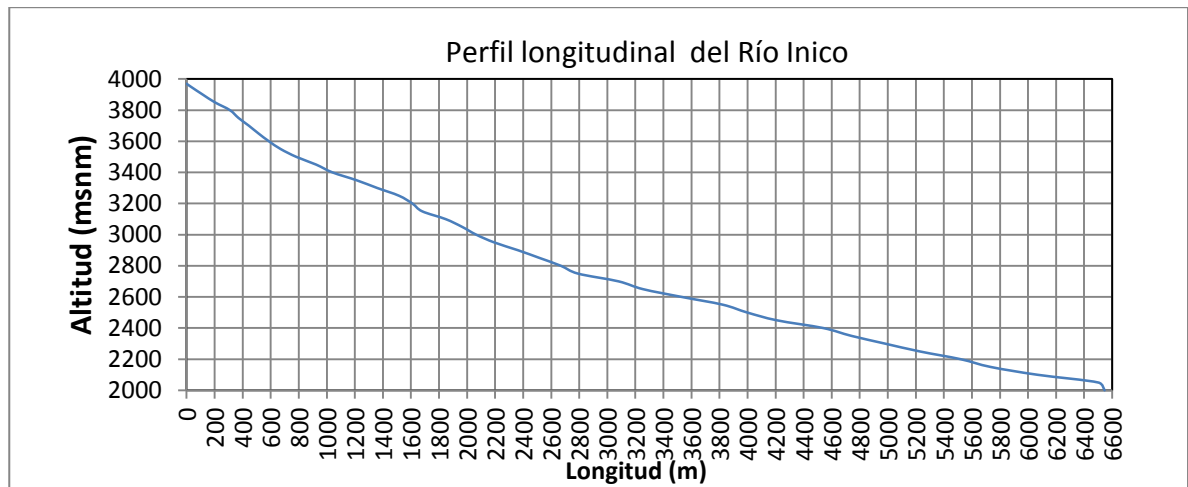
- **Perfil longitudinal del río Upamayo**



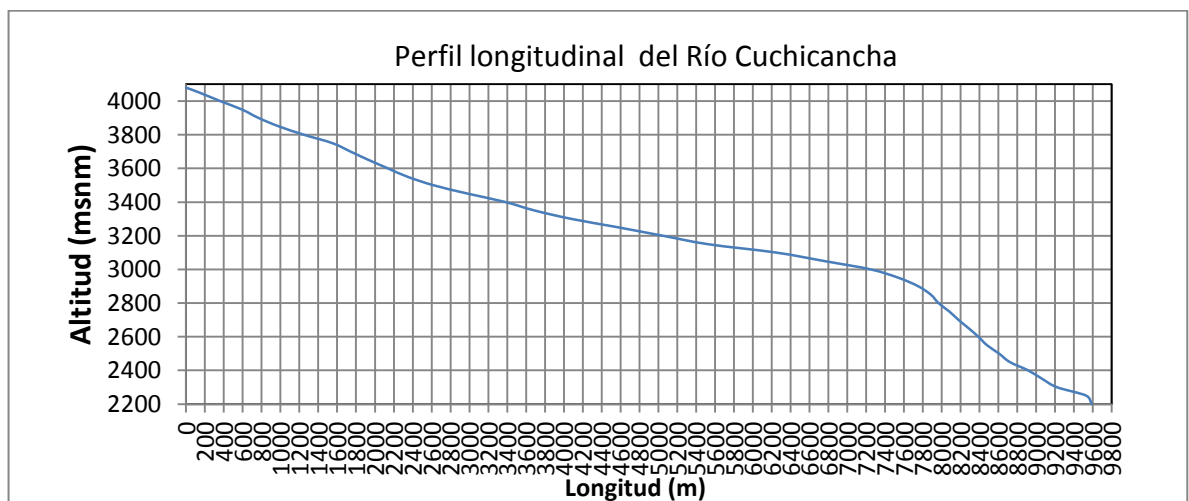
- **Perfil longitudinal del río Macas**



- **Perfil longitudinal del río Inico**



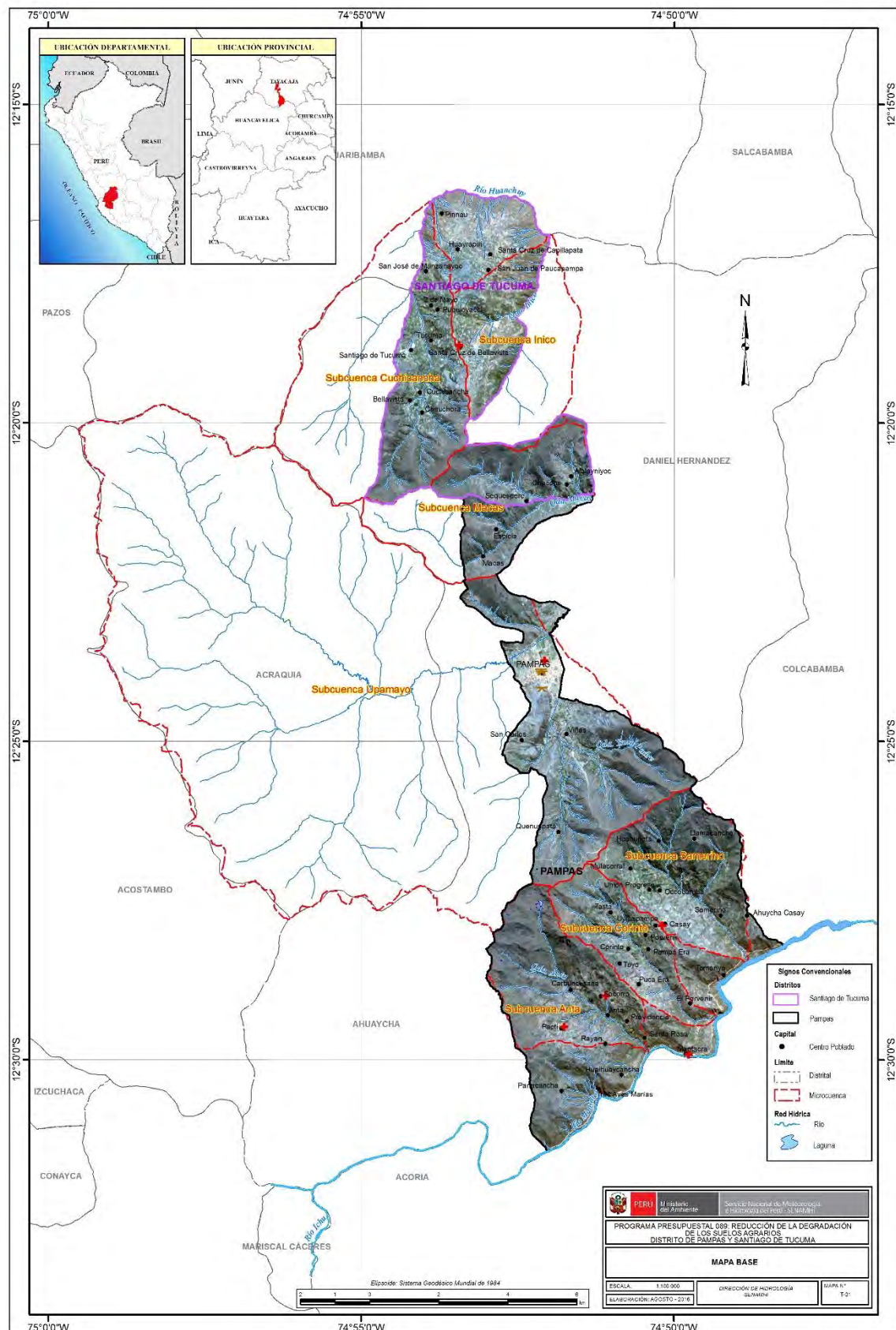
- **Perfil longitudinal del río Cuchicancha**



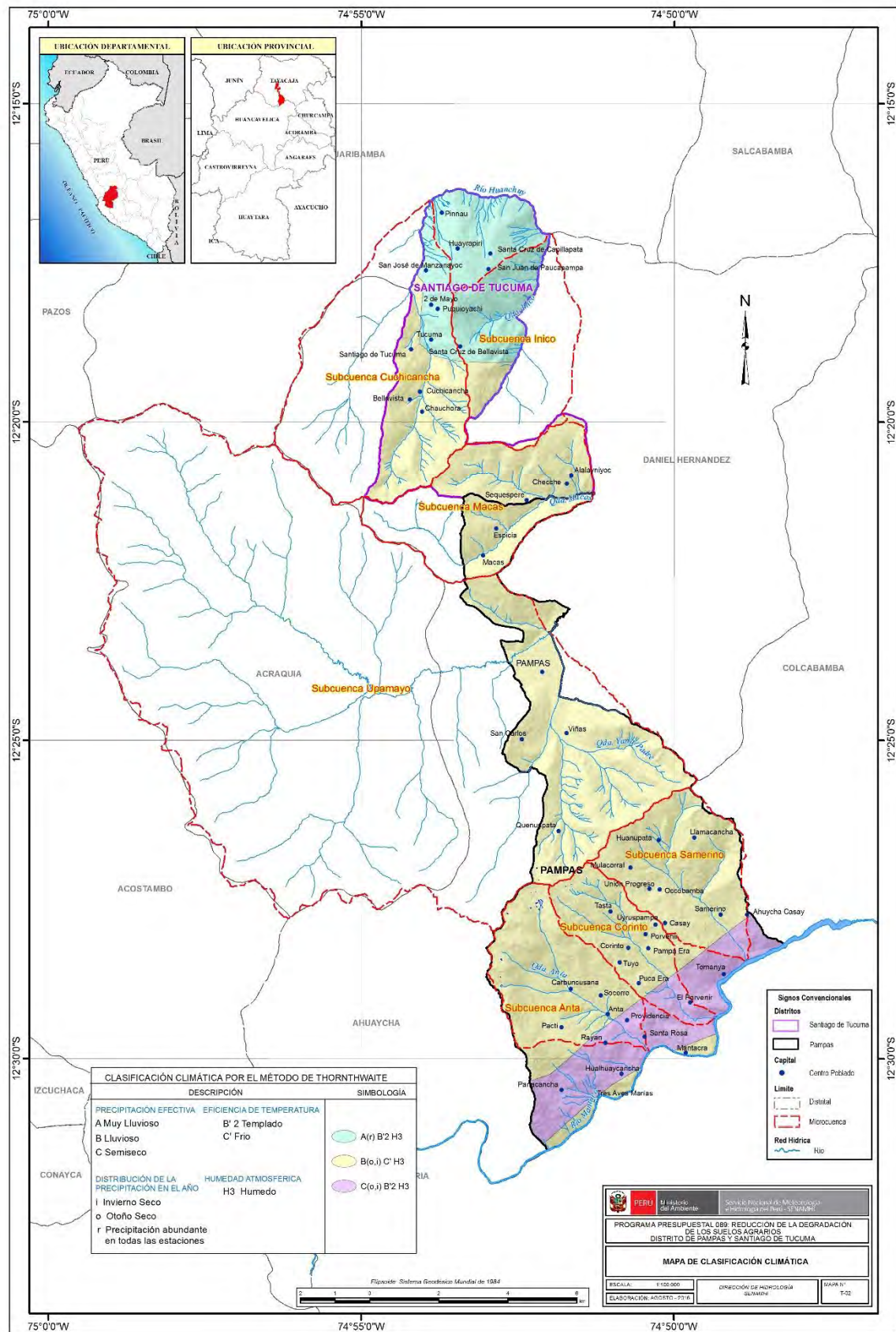


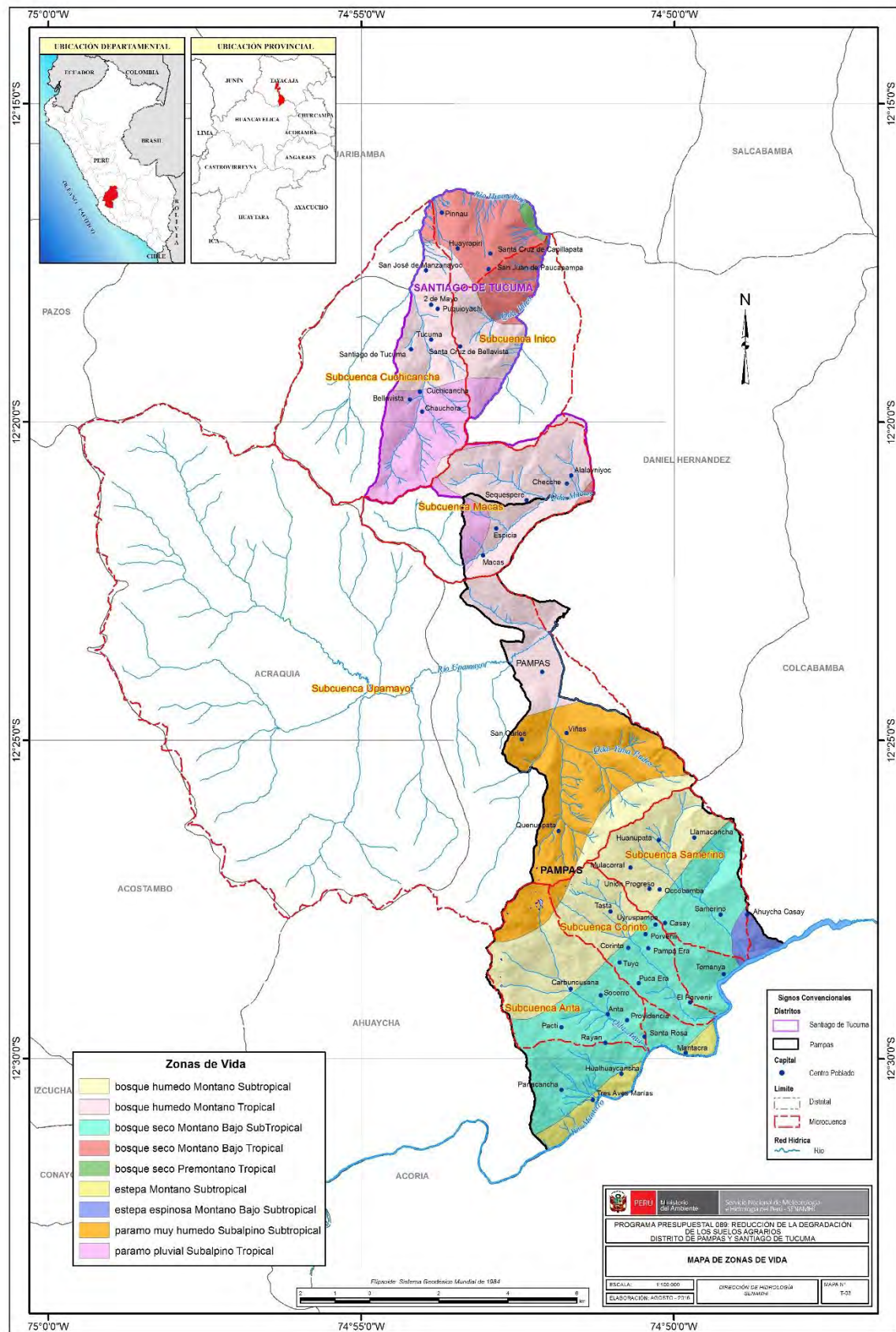
### 11.3 Anexo de Mapas

### 11.3.1 Mapas temáticos

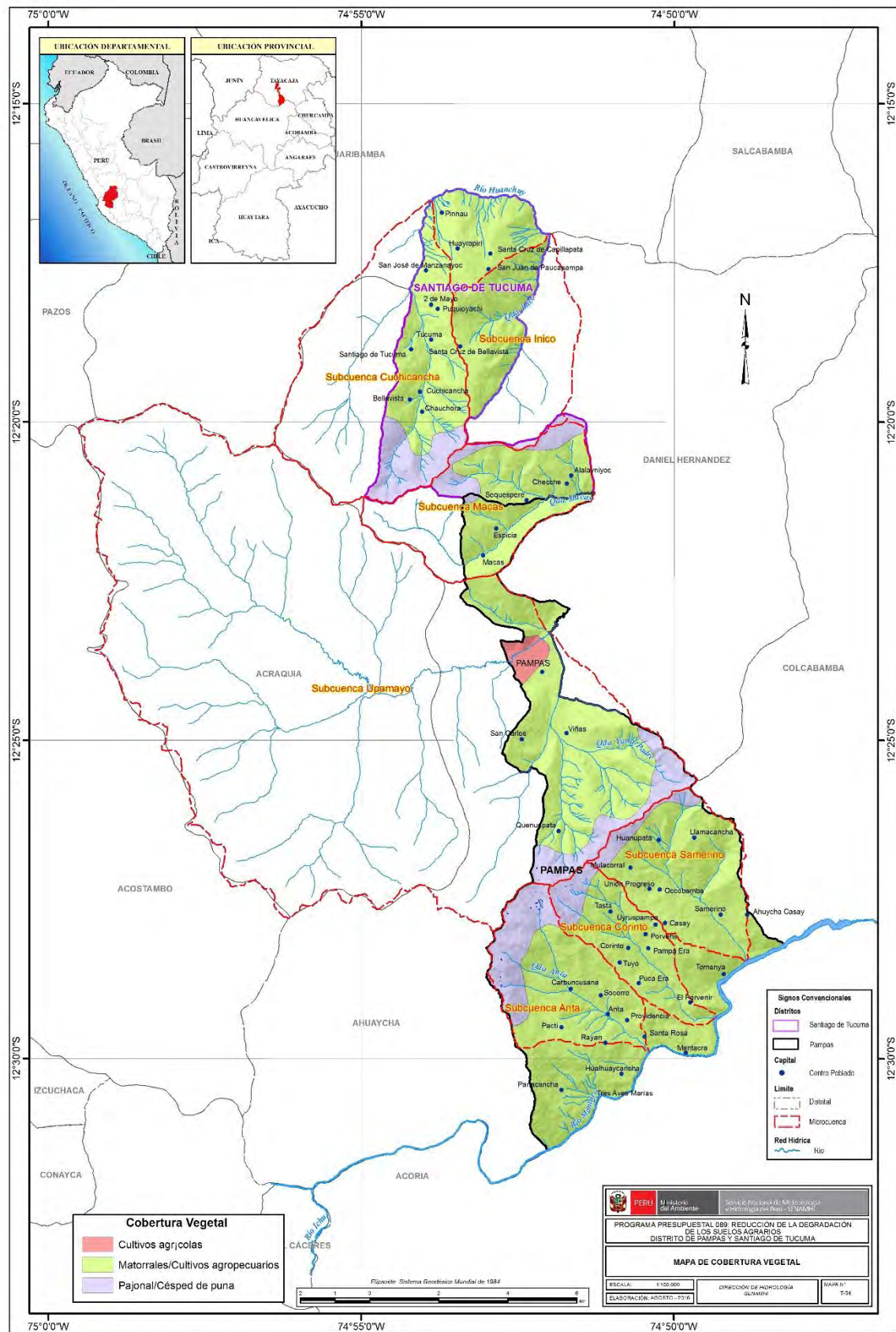




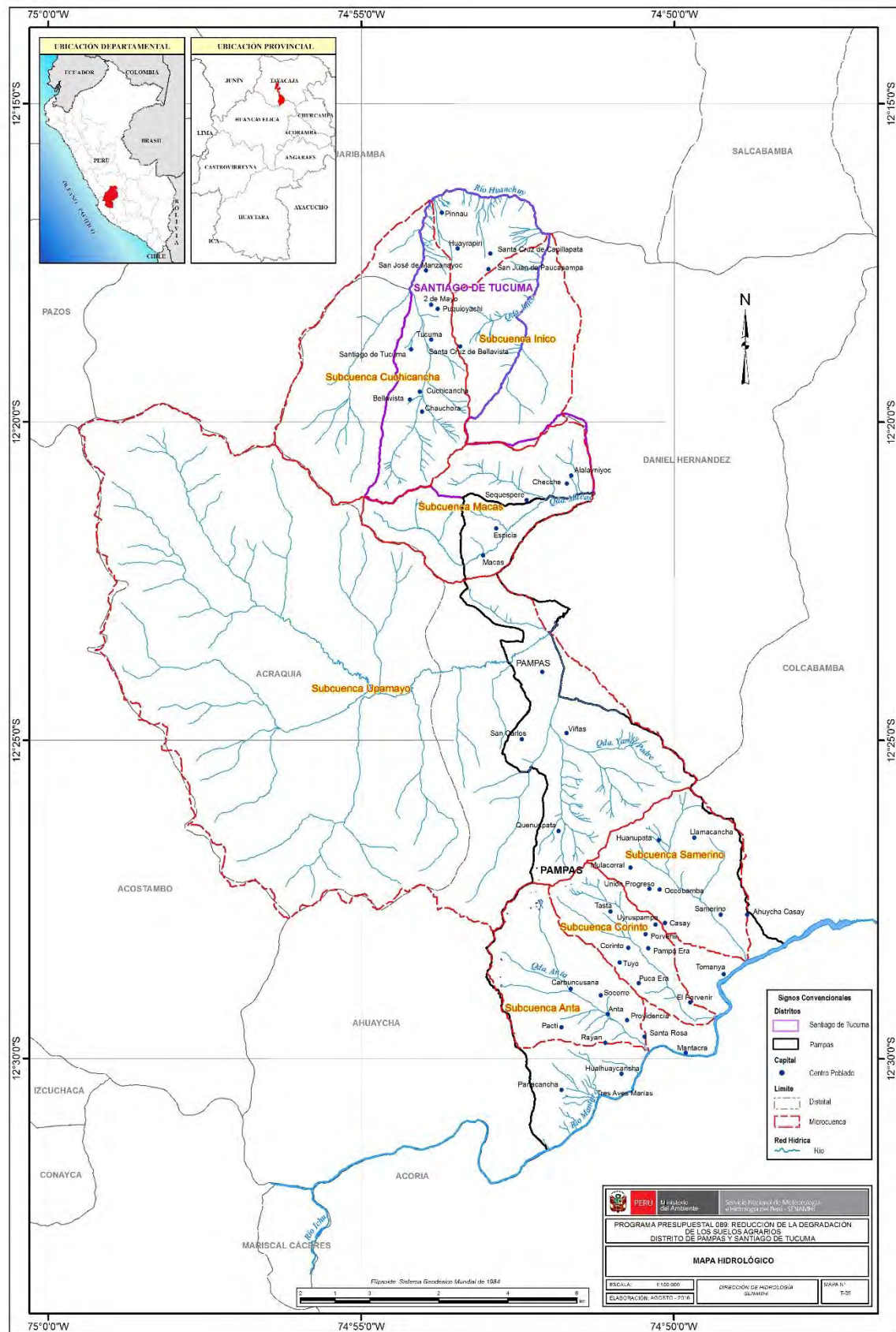


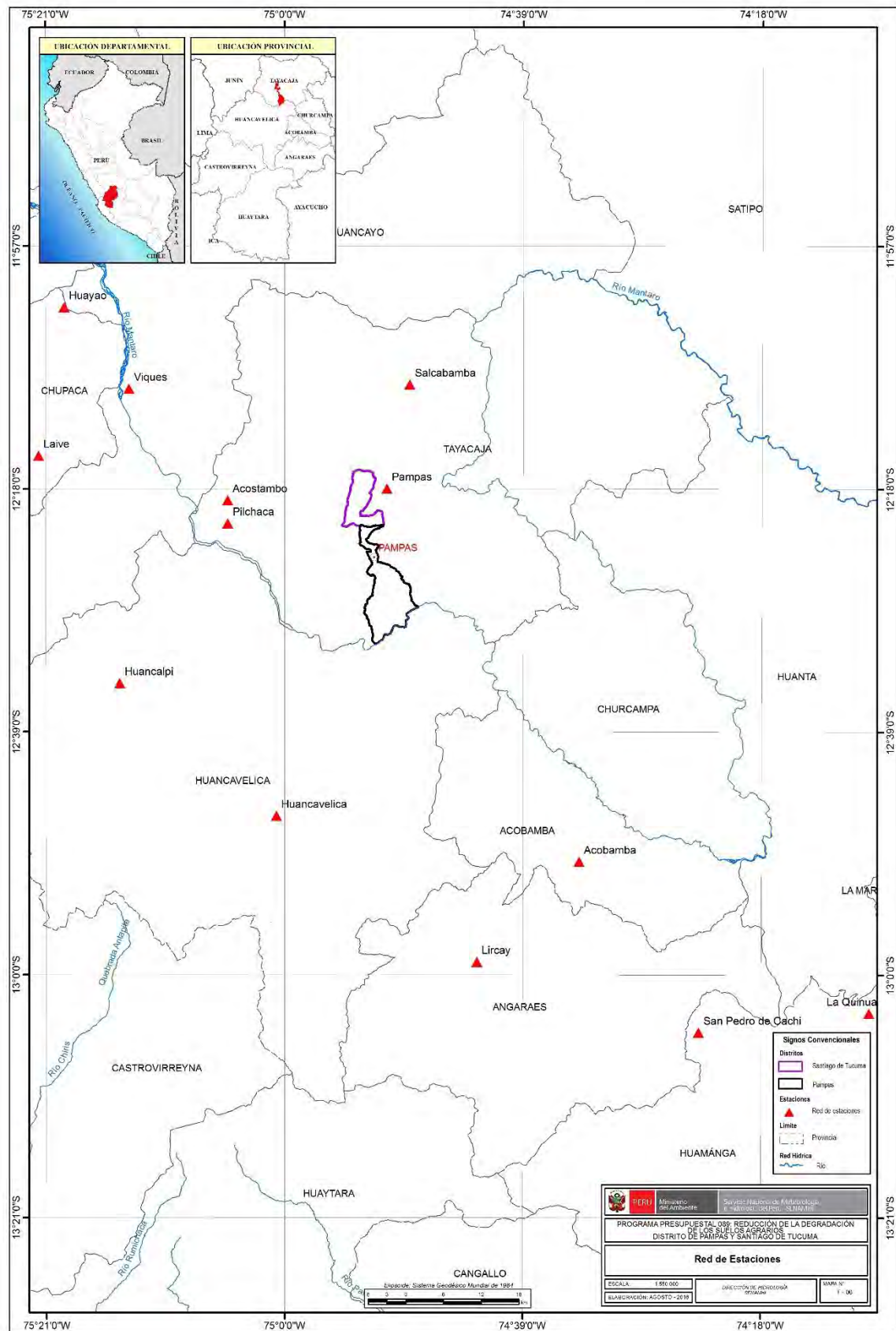






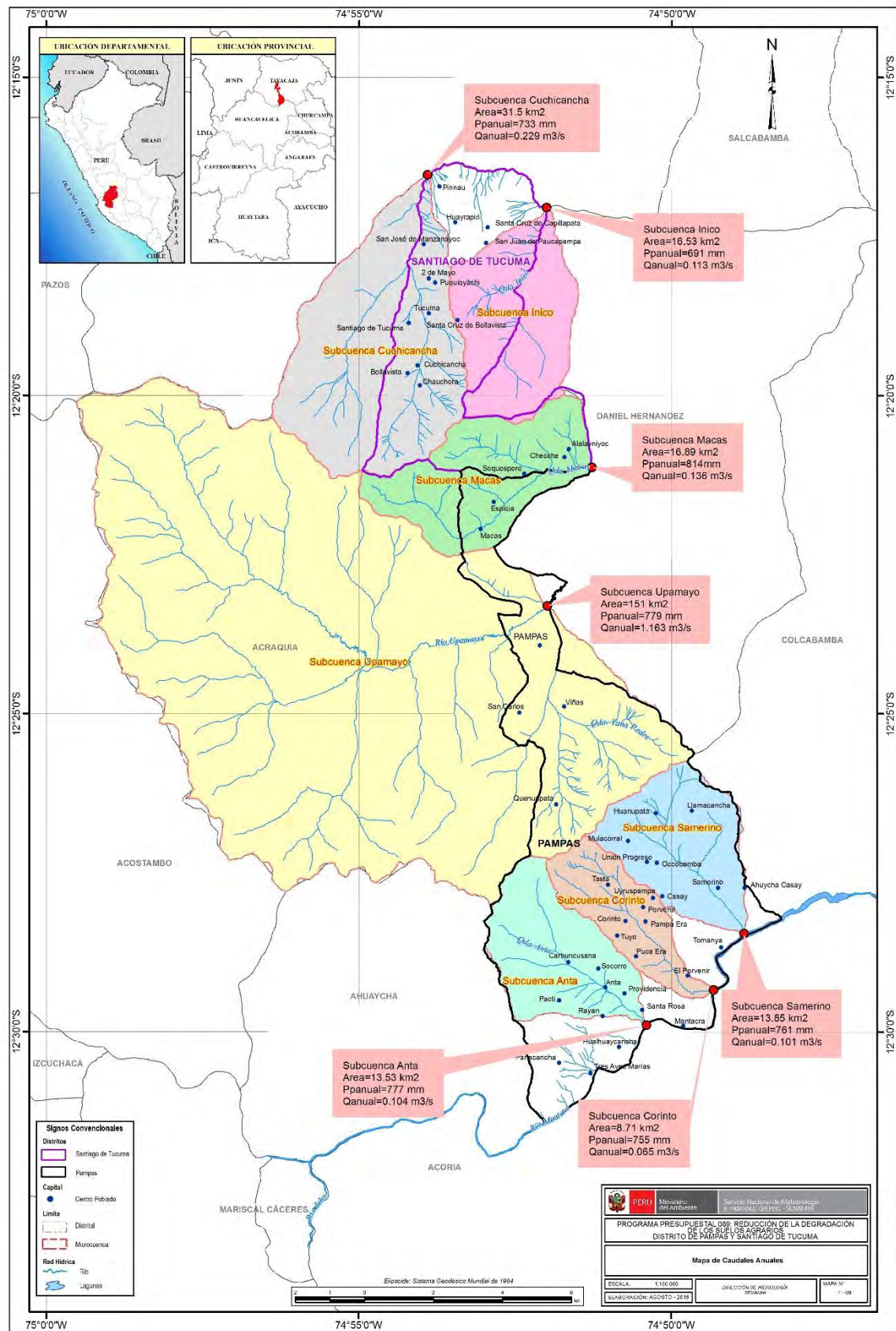










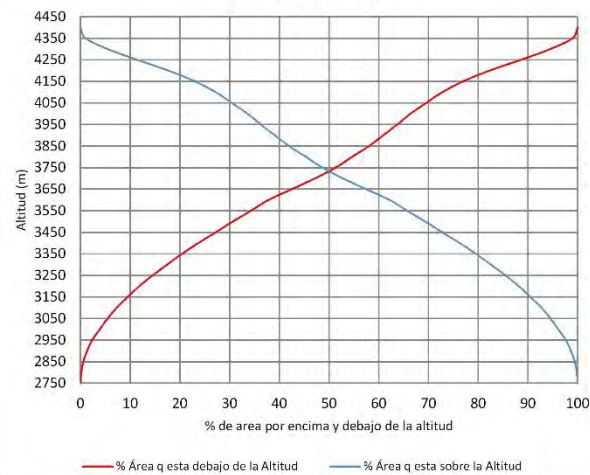




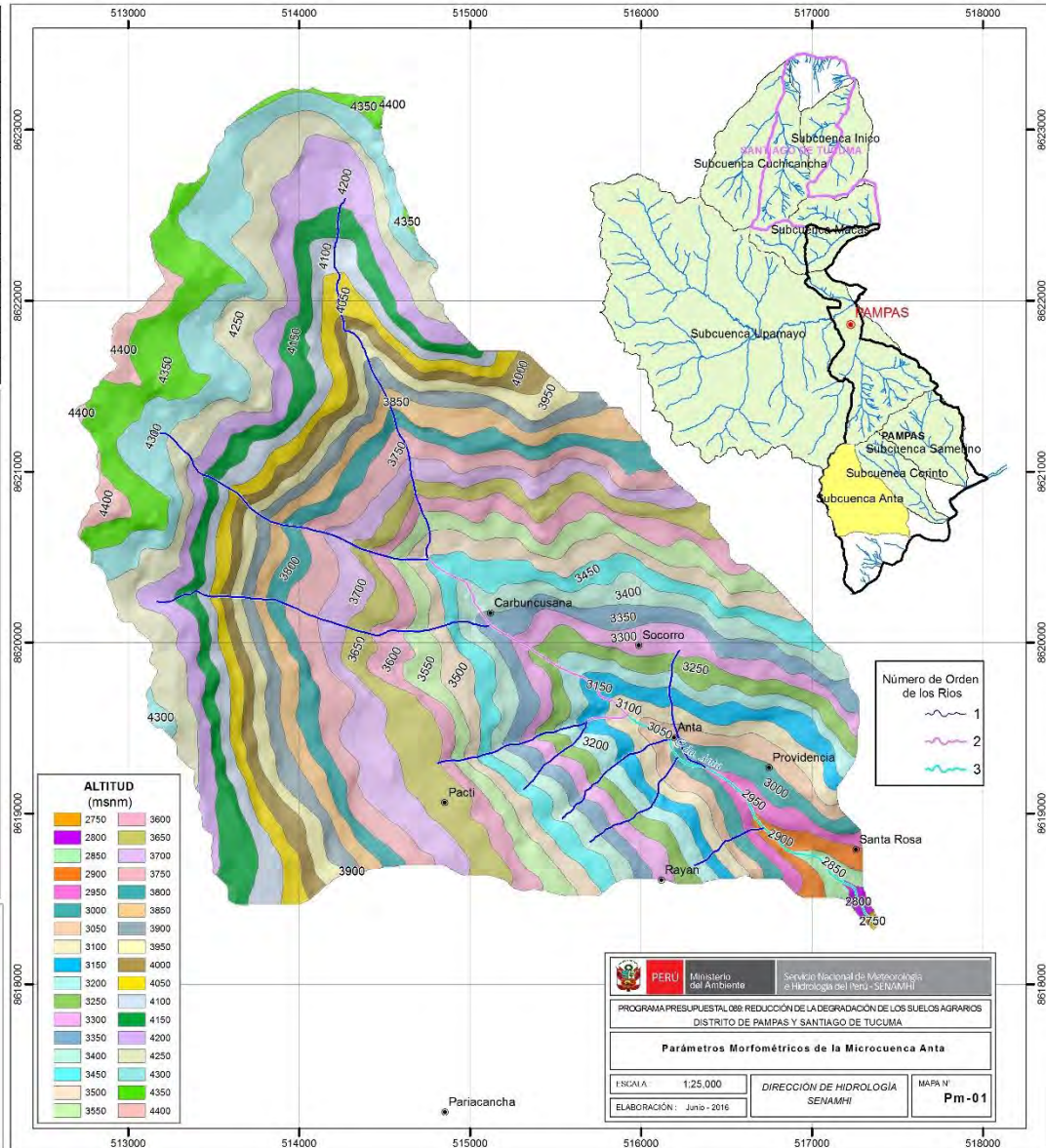
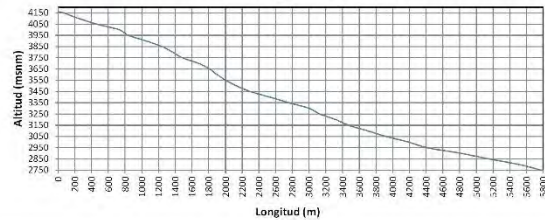
### 11.3.2 Mapas de parámetros morfométricos

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS		UNIDAD	MIC. ANTA
Área de la cuenca		km <sup>2</sup>	13.53
Perímetro de la cuenca		km	17.20
Longitud del río principal		km	5.86
Coeficiente de compactidad		Kc	1.32
Factor de forma		Ft	0.39
Rectángulo equivalente	Lado mayor	km	6.53
	Lado menor	km	2.07
Altitud media de la cuenca		msnm	3737
Pendiente de la cuenca		%	48
Densidad de drenaje		km / km <sup>2</sup>	1.06
Cotas del cause principal	Altitud máxima	msnm	4160
	Altitud mínima	msnm	2750
Pendiente media del río principal		%	26
Tiempo de concentración		minutos	26.87

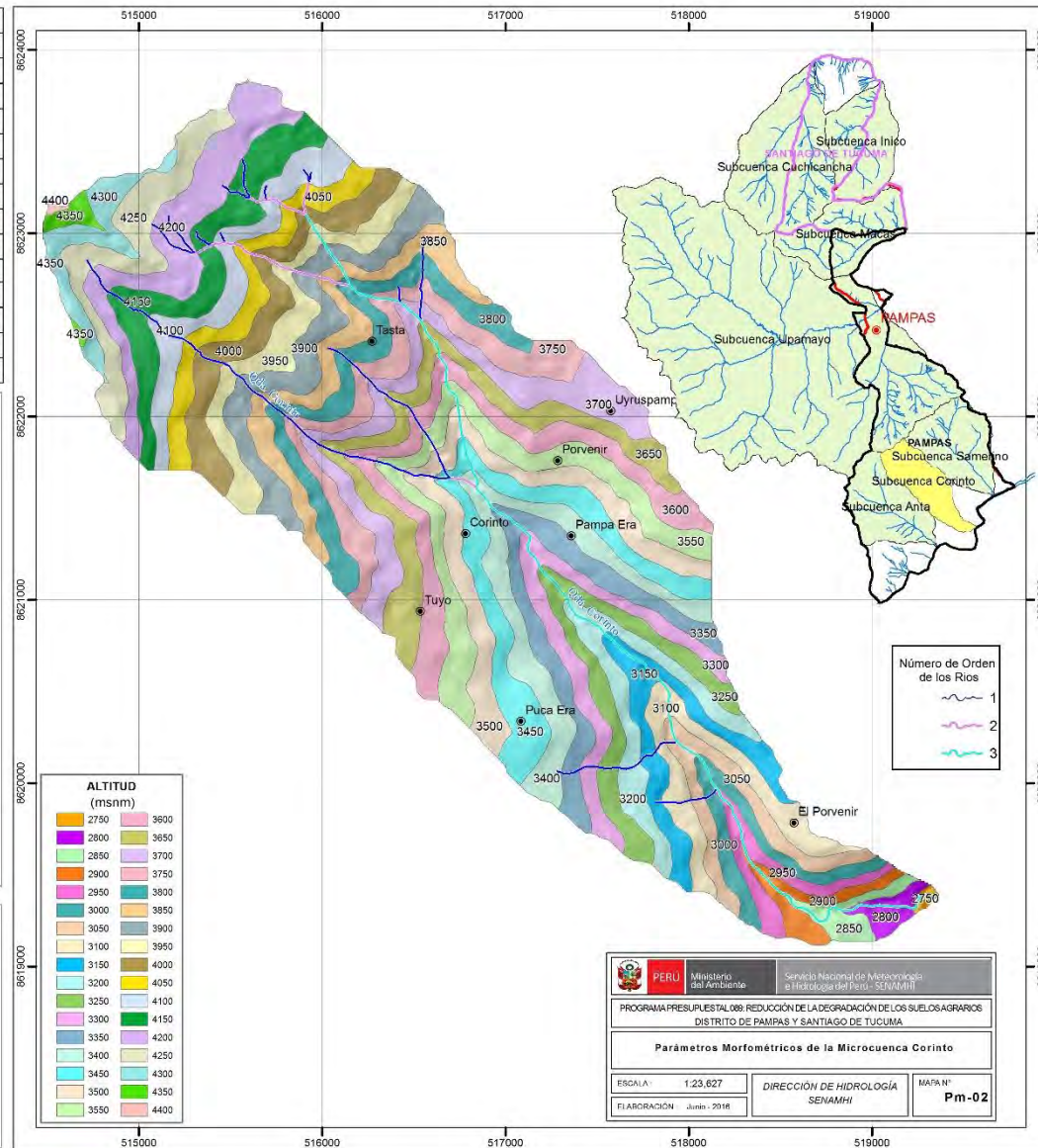
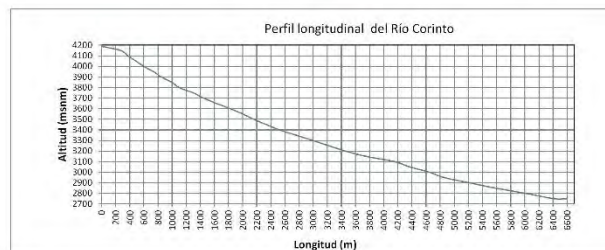
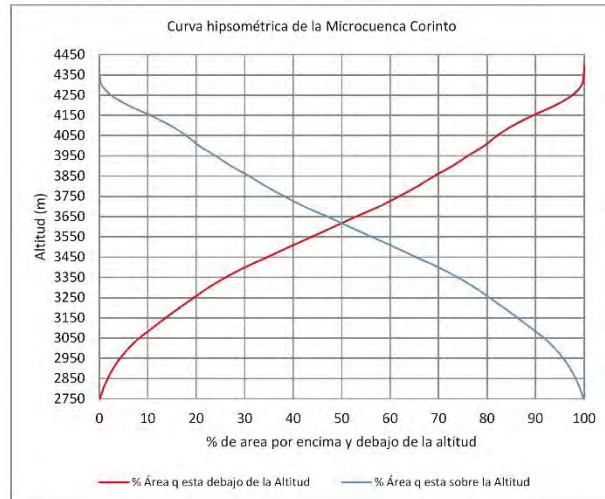
Curva hipsométrica de la Microcuenca Anta



Perfil longitudinal del Río Anta

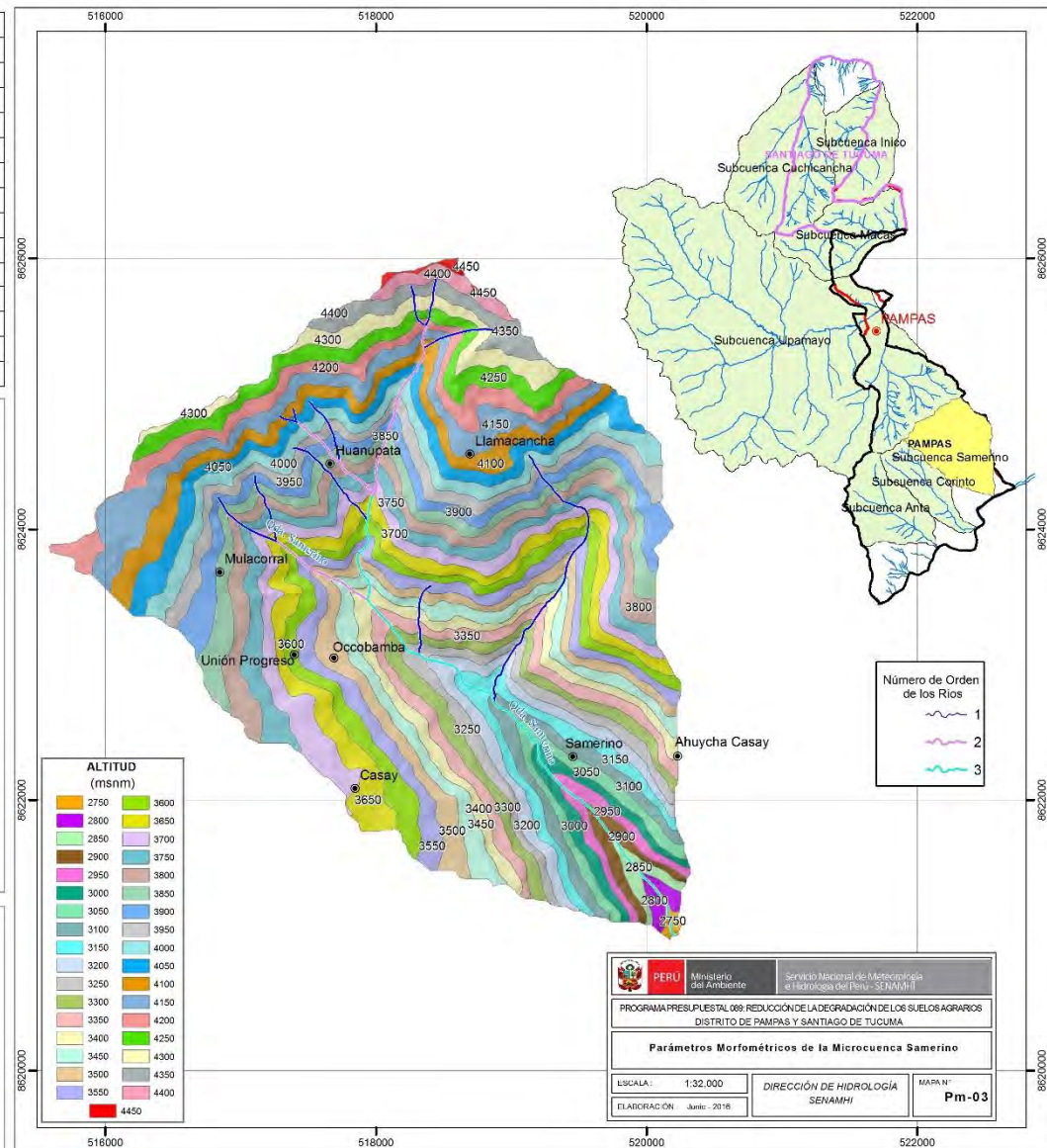
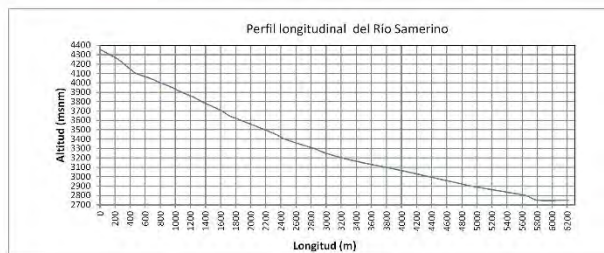
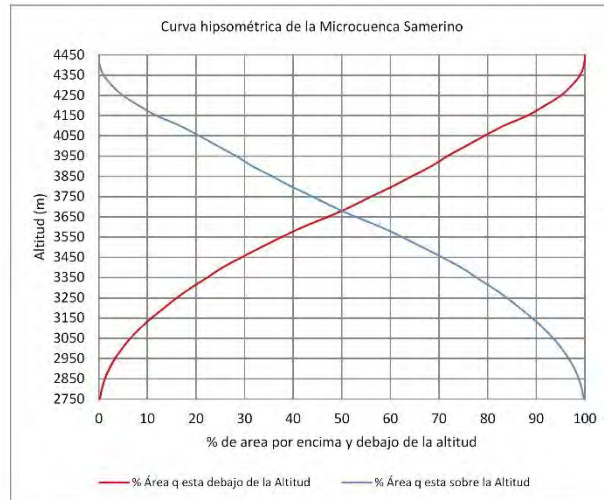


PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS		UNIDAD	MIC. CORINTO
Área de la cuenca		km <sup>2</sup>	8.71
Perímetro de la cuenca		km	15.30
Longitud del río principal		km	6.59
Coeficiente de compacidad		Kc	1.46
Factor de forma		Ft	0.20
Rectángulo equivalente	Lado mayor	km	6.26
	Lado menor	km	1.39
Altitud media de la cuenca		msnm	3618
Pendiente de la cuenca		%	28
Densidad de drenaje		km/km <sup>2</sup>	1.60
Cotas del cause principal	Altitud máxima	msnm	4190
	Altitud mínima	msnm	2750
Pendiente media del río principal		%	25
Tiempo de concentración		minutos	31

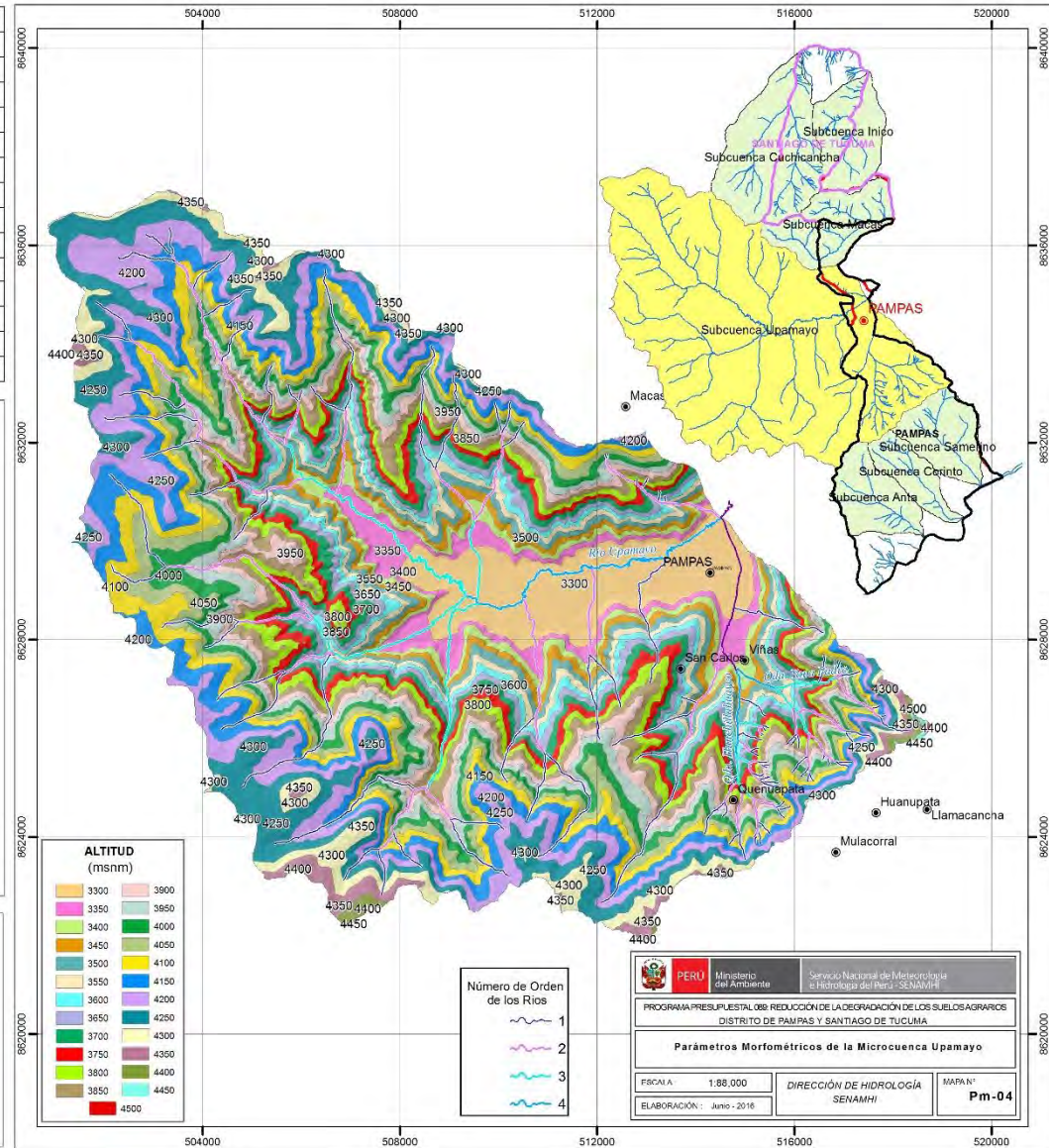
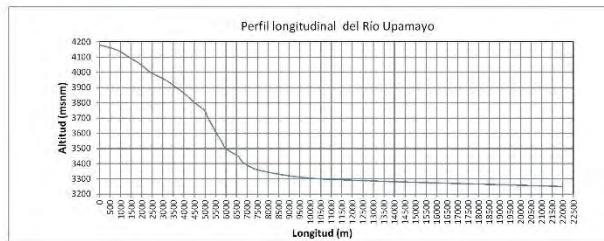
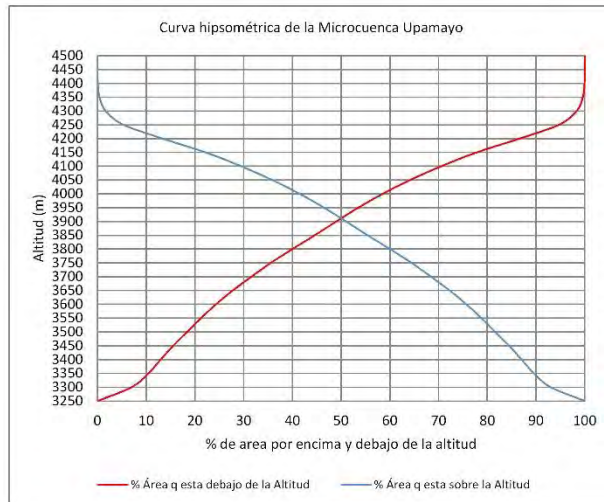




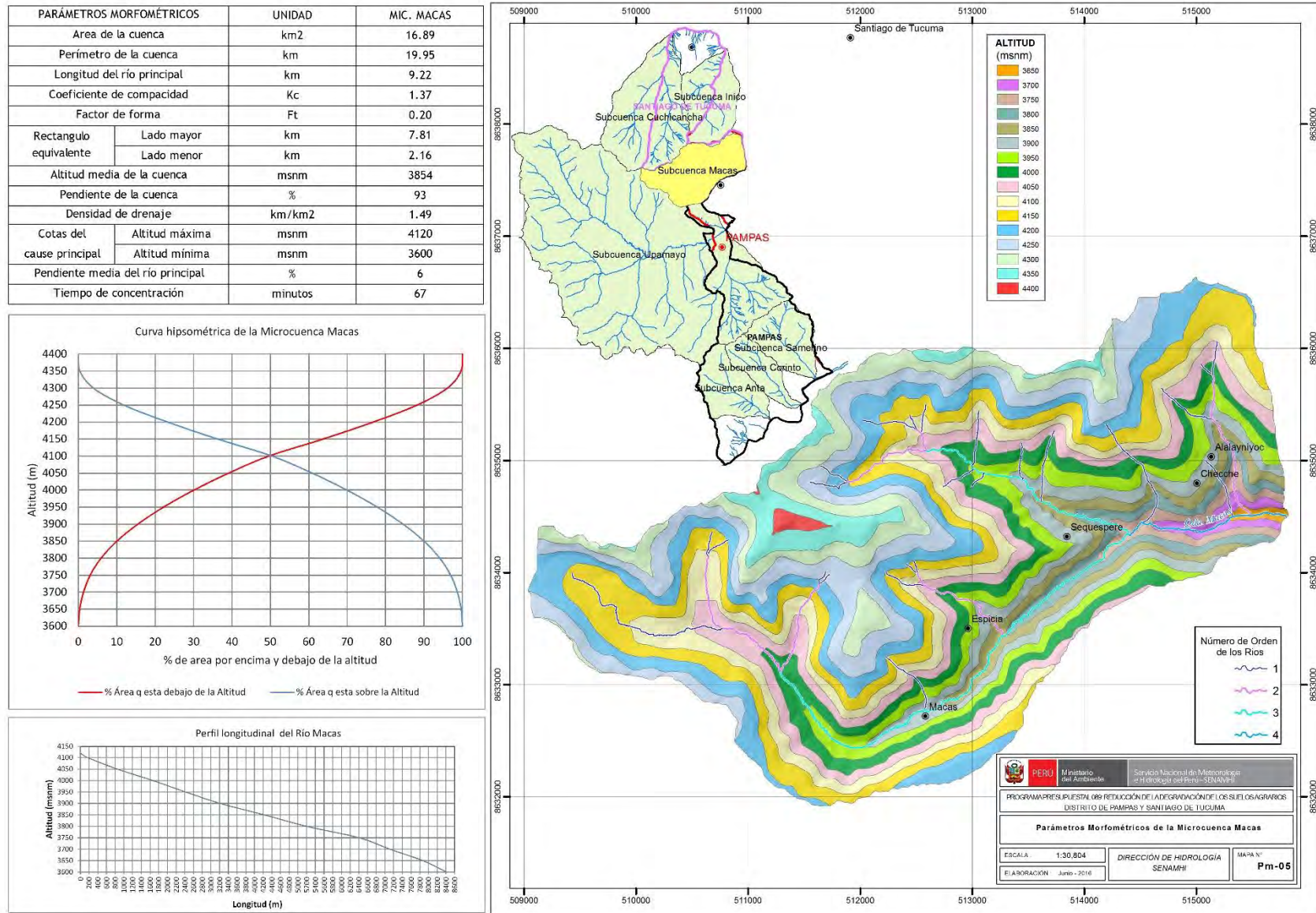
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS		UNIDAD	MIC. SAMERINO
Área de la cuenca		km <sup>2</sup>	13.85
Perímetro de la cuenca		km	16.43
Longitud del río principal		km	6.21
Coeficiente de compacidad		Kc	1.25
Factor de forma		Ft	0.36
Rectángulo equivalente	Lado mayor	km	5.85
	Lado menor	km	2.37
Altitud media de la cuenca		msnm	3672
Pendiente de la cuenca		%	10
Densidad de drenaje		km/km <sup>2</sup>	1.03
Cotas del cause principal	Altitud máxima	msnm	4360
	Altitud mínima	msnm	2750
Pendiente media del río principal		%	31
Tiempo de concentración		minutos	27



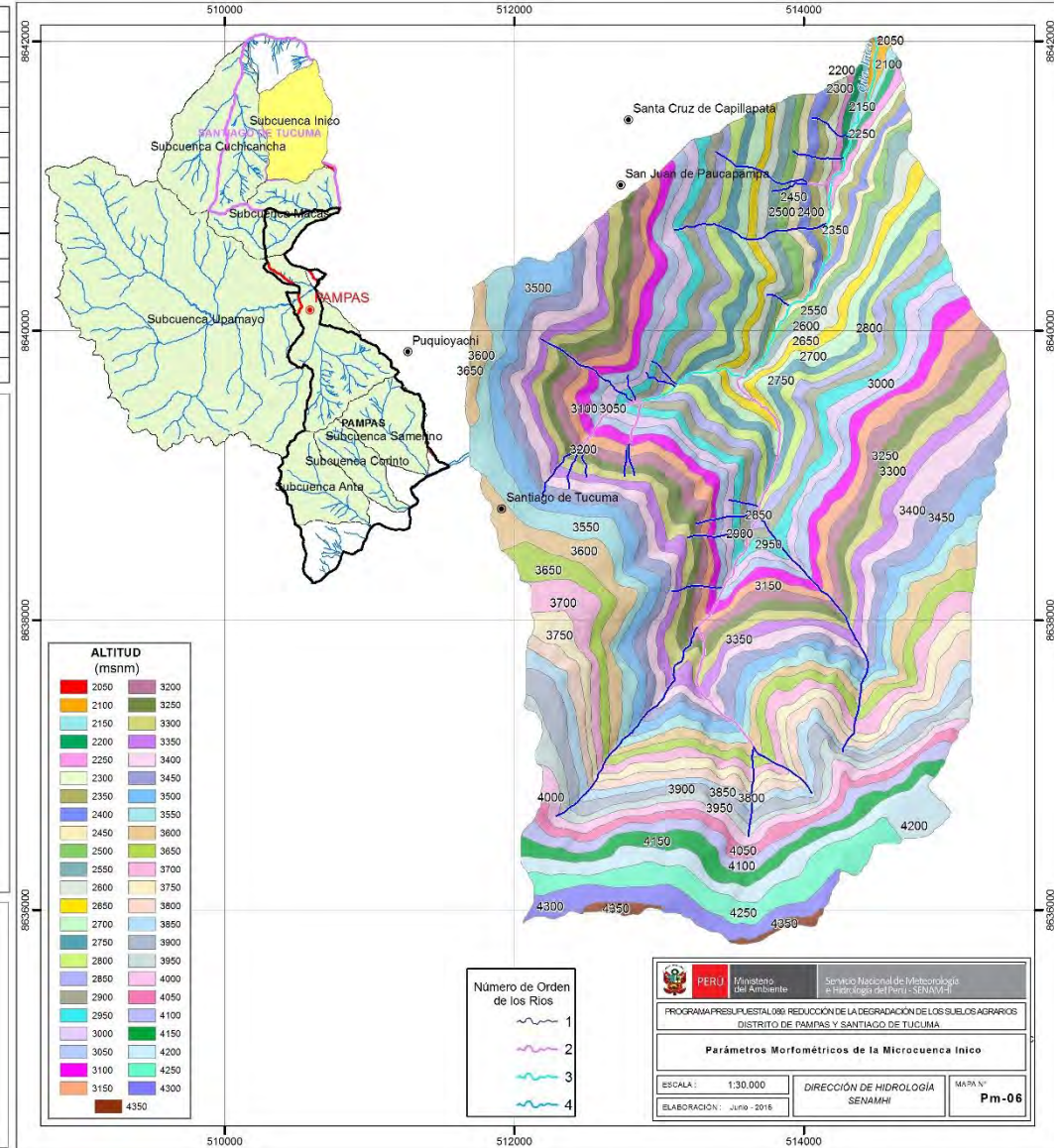
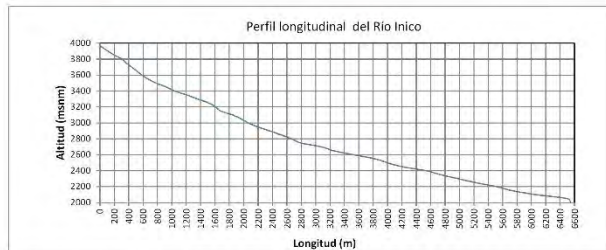
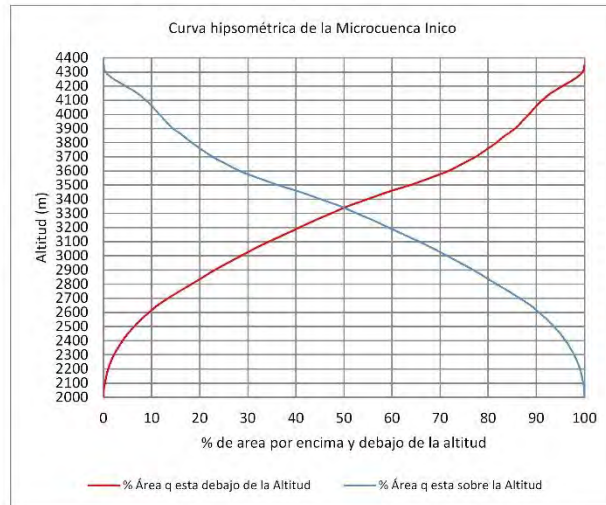
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS		UNIDAD	MIC. UPAMAYO
Área de la cuenca		km <sup>2</sup>	151.17
Perímetro de la cuenca		km	62.82
Longitud del río principal		km	22.00
Coeficiente de compacidad		Kc	1.44
Factor de forma		Ft	0.31
Rectángulo equivalente	Lado mayor	km	25.47
	Lado menor	km	5.93
Altitud media de la cuenca		msnm	3854
Pendiente de la cuenca		%	93
Densidad de drenaje		km/km <sup>2</sup>	1.13
Cotas del cause principal	Altitud máxima	msnm	4180
	Altitud mínima	msnm	3250
Pendiente media del río principal		%	6
Tiempo de concentración		minutos	145





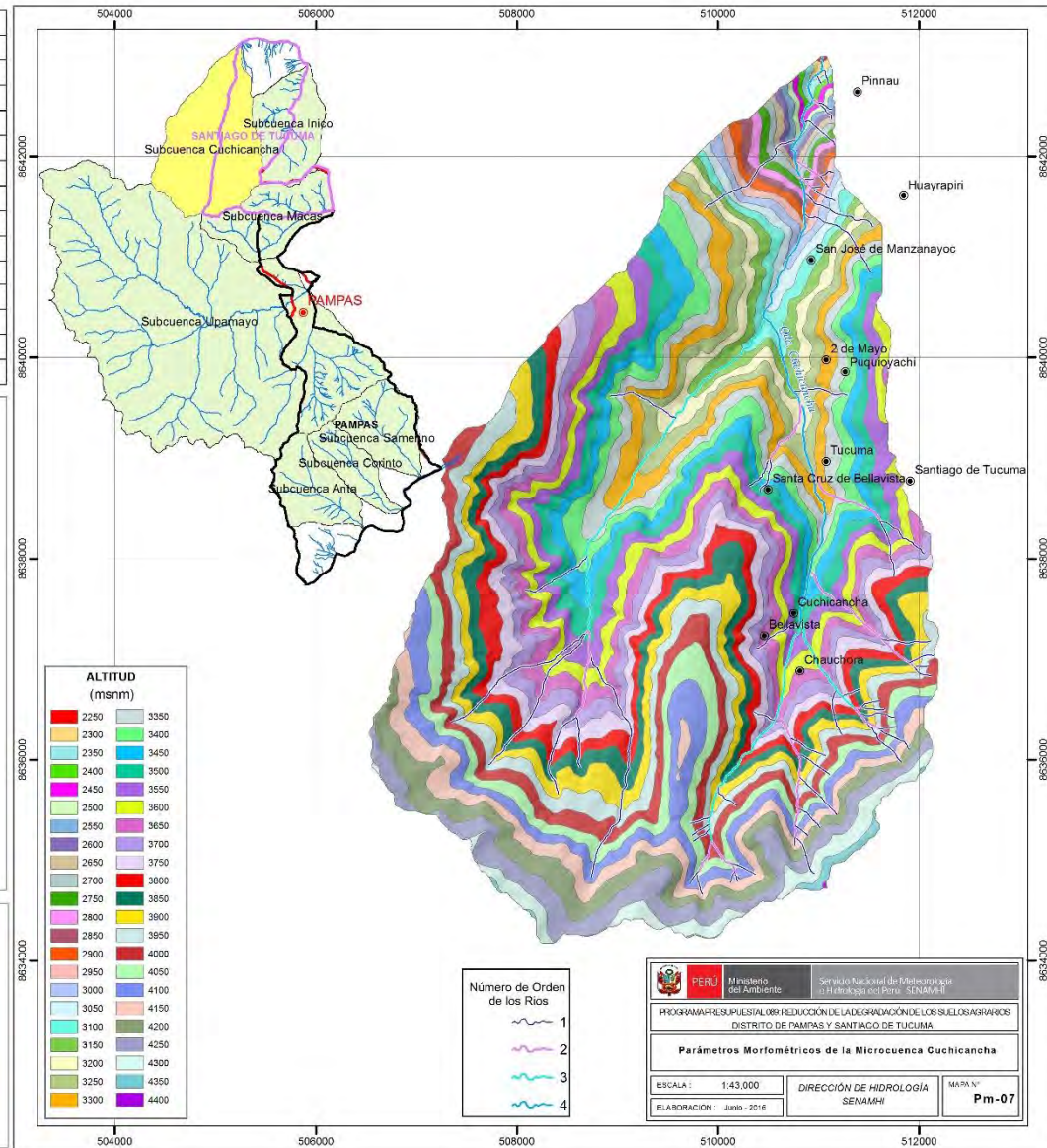
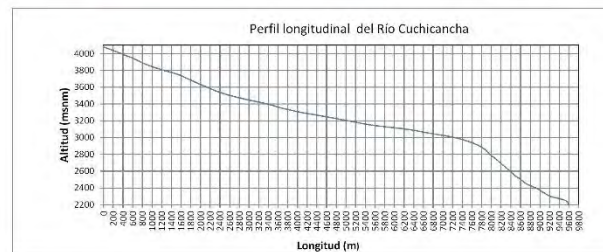
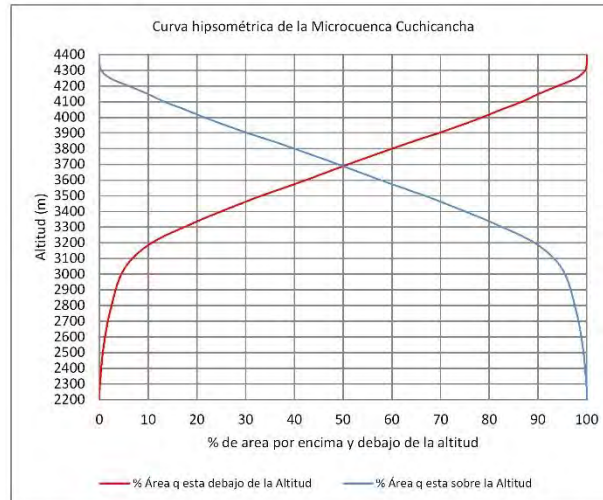


PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS		UNIDAD	MIC. INICO
Área de la cuenca		km <sup>2</sup>	16.53
Perímetro de la cuenca		km	17.89
Longitud del río principal		km	6.55
Coeficiente de compacidad		Kc	1.24
Factor de forma		Ft	0.39
Rectángulo equivalente	Lado mayor	km	6.34
	Lado menor	km	2.61
Altitud media de la cuenca		msnm	3313
Pendiente de la cuenca		%	46
Densidad de drenaje		km/km <sup>2</sup>	1.21
Cotas del cause principal	Altitud máxima	msnm	3970
	Altitud mínima	msnm	2000
Pendiente media del río principal		%	32
Tiempo de concentración		minutos	27

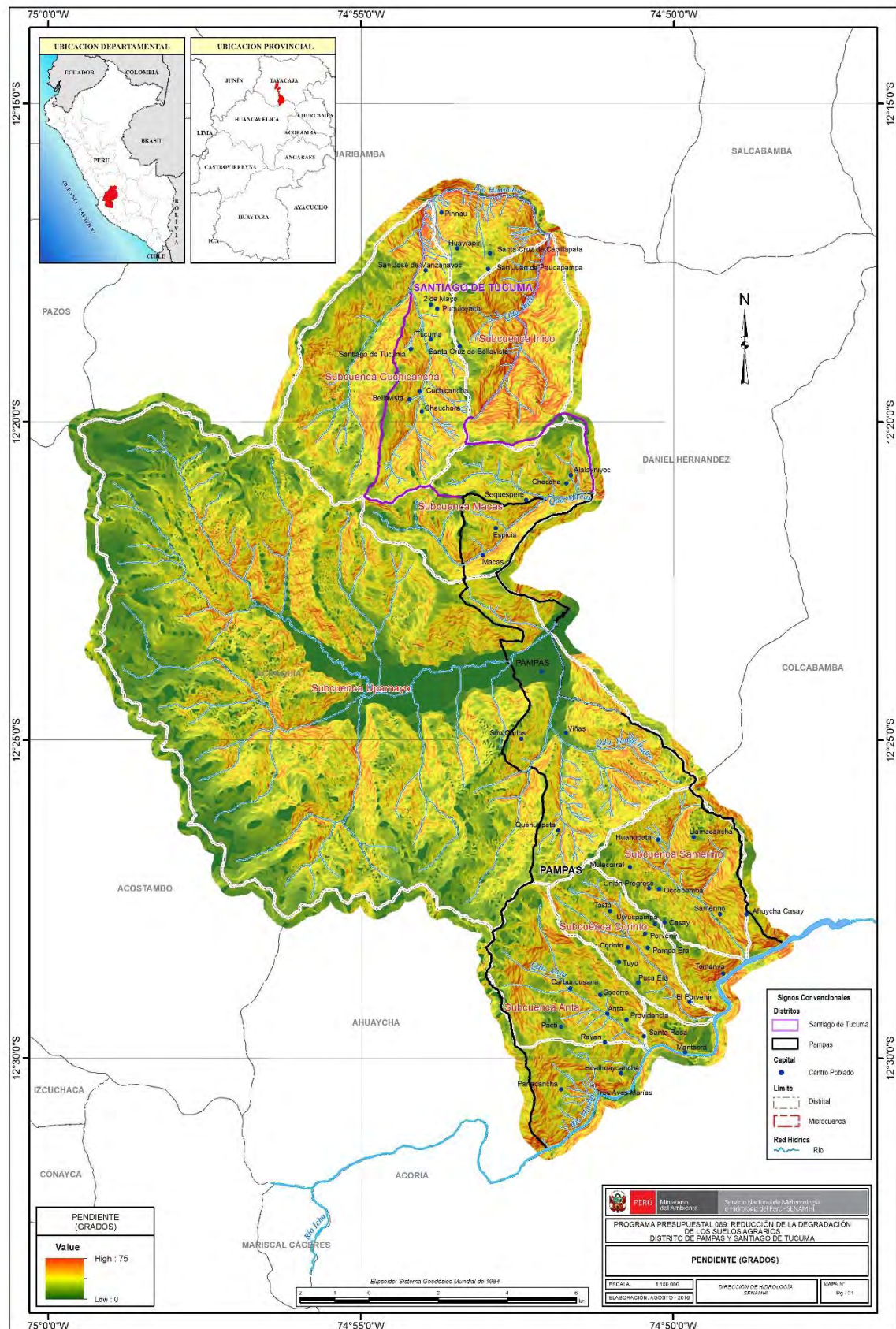




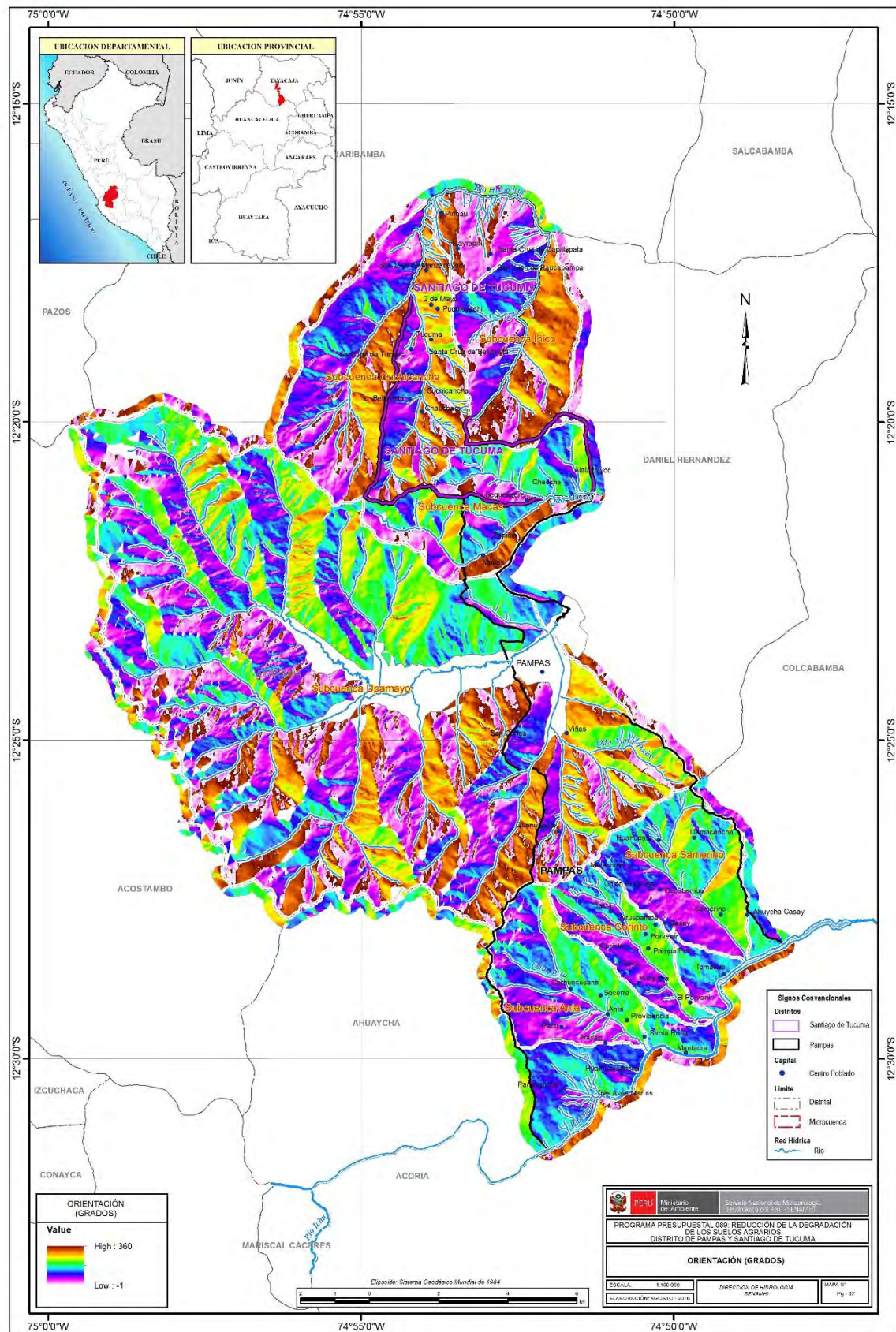
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS		UNIDAD	MIC. CUCHICANCHA
Área de la cuenca		km <sup>2</sup>	31.56
Perímetro de la cuenca		km	24.77
Longitud del río principal		km	10.10
Coeficiente de compacidad		Kc	1.24
Factor de forma		Ft	0.31
Rectángulo equivalente	Lado mayor	km	8.80
	Lado menor	km	3.59
Altitud media de la cuenca		msnm	3661
Pendiente de la cuenca		%	67
Densidad de drenaje		km/km <sup>2</sup>	1.43
Cotas del cause principal	Altitud máxima	msnm	4080
	Altitud mínima	msnm	2200
Pendiente media del río principal		%	21
Tiempo de concentración		minutos	45

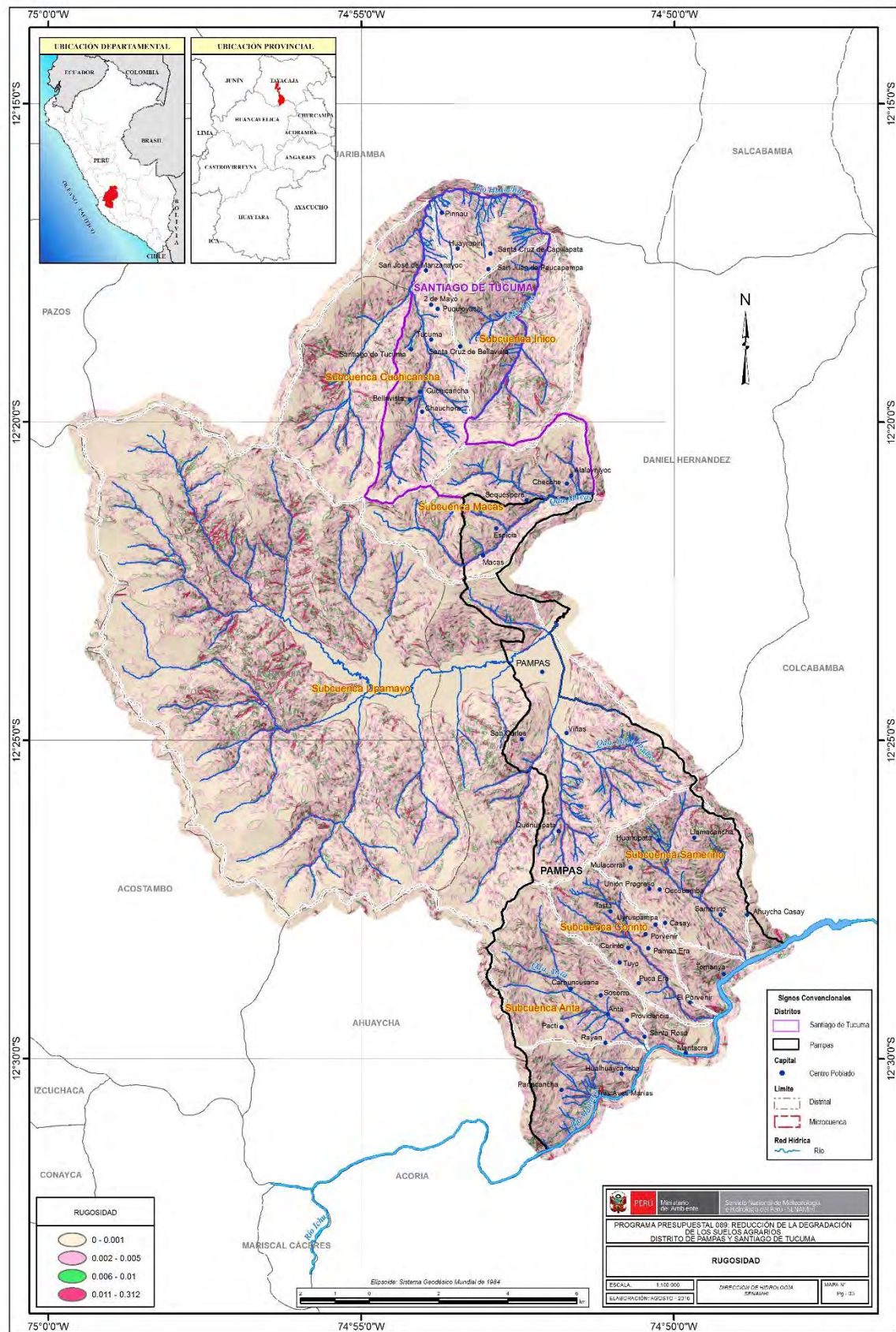


### 11.3.3 Mapas de parámetros geomorfológicos

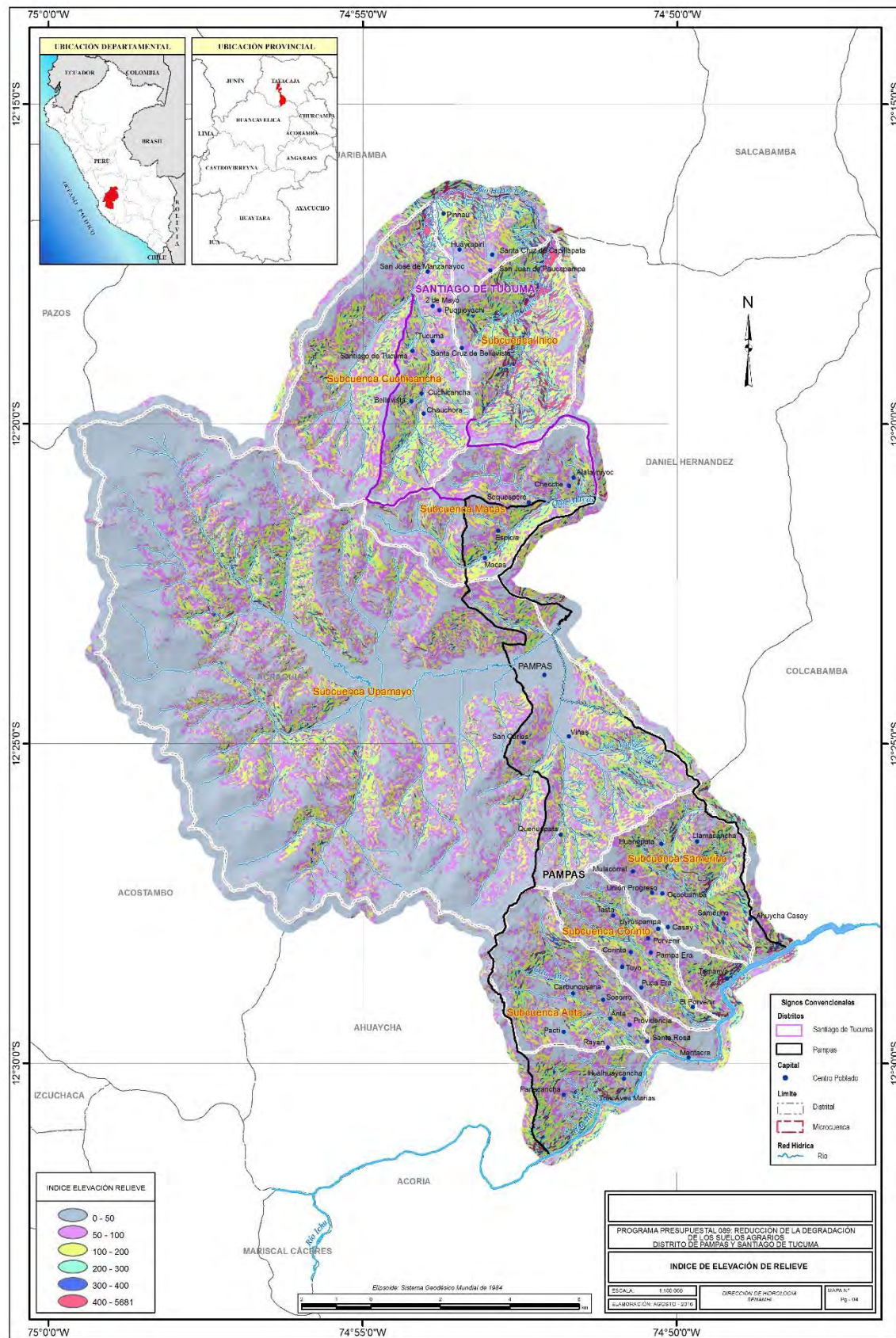




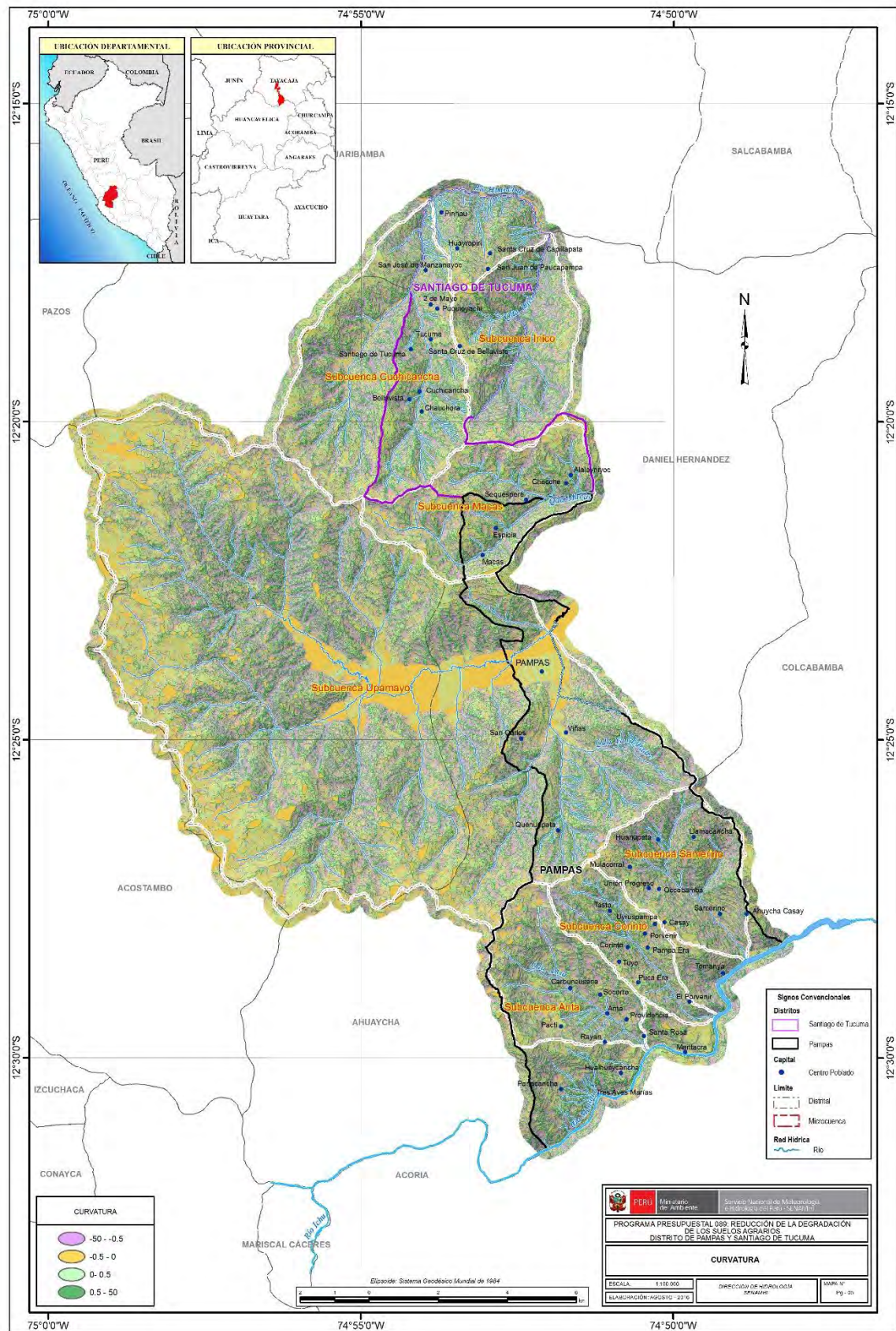




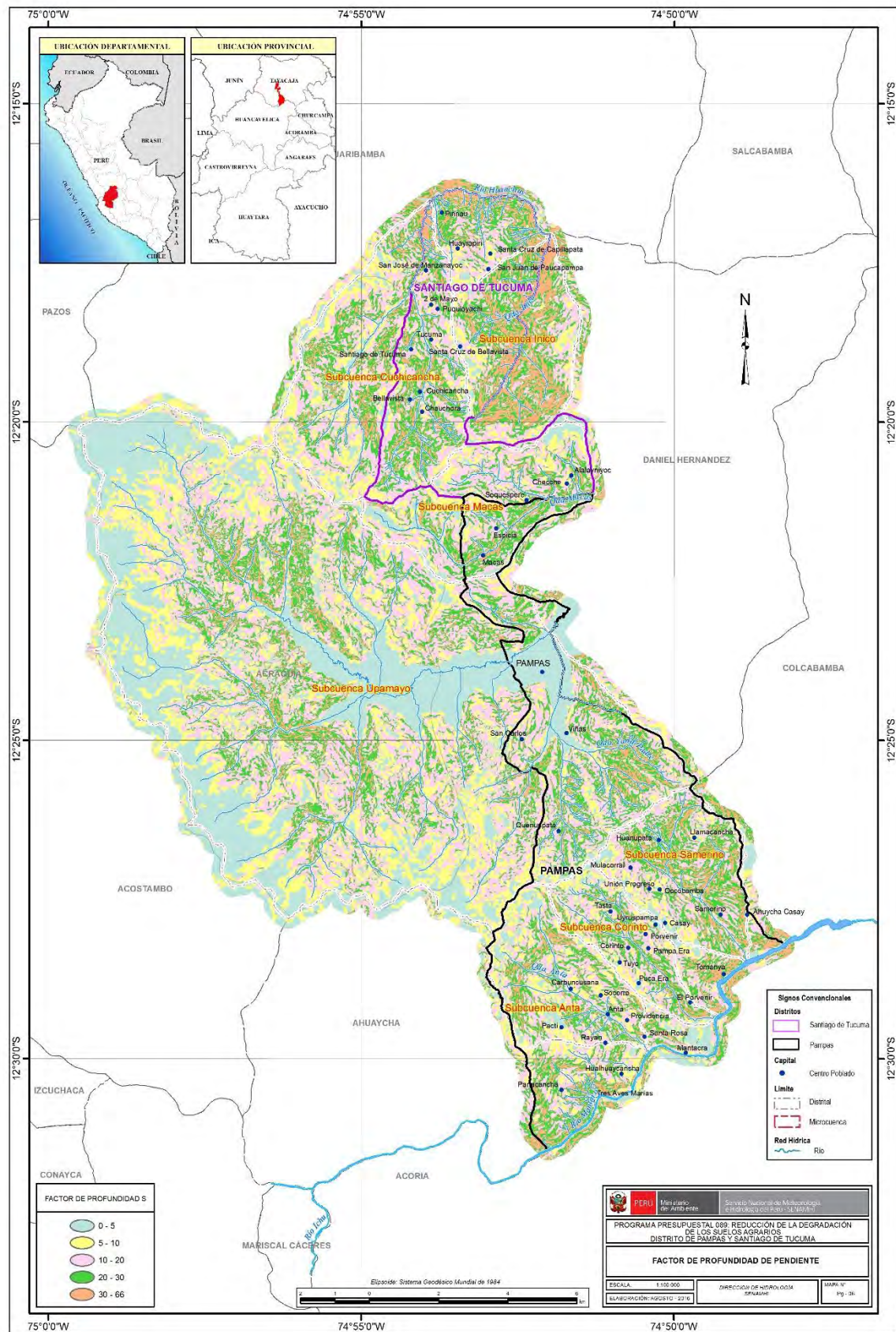




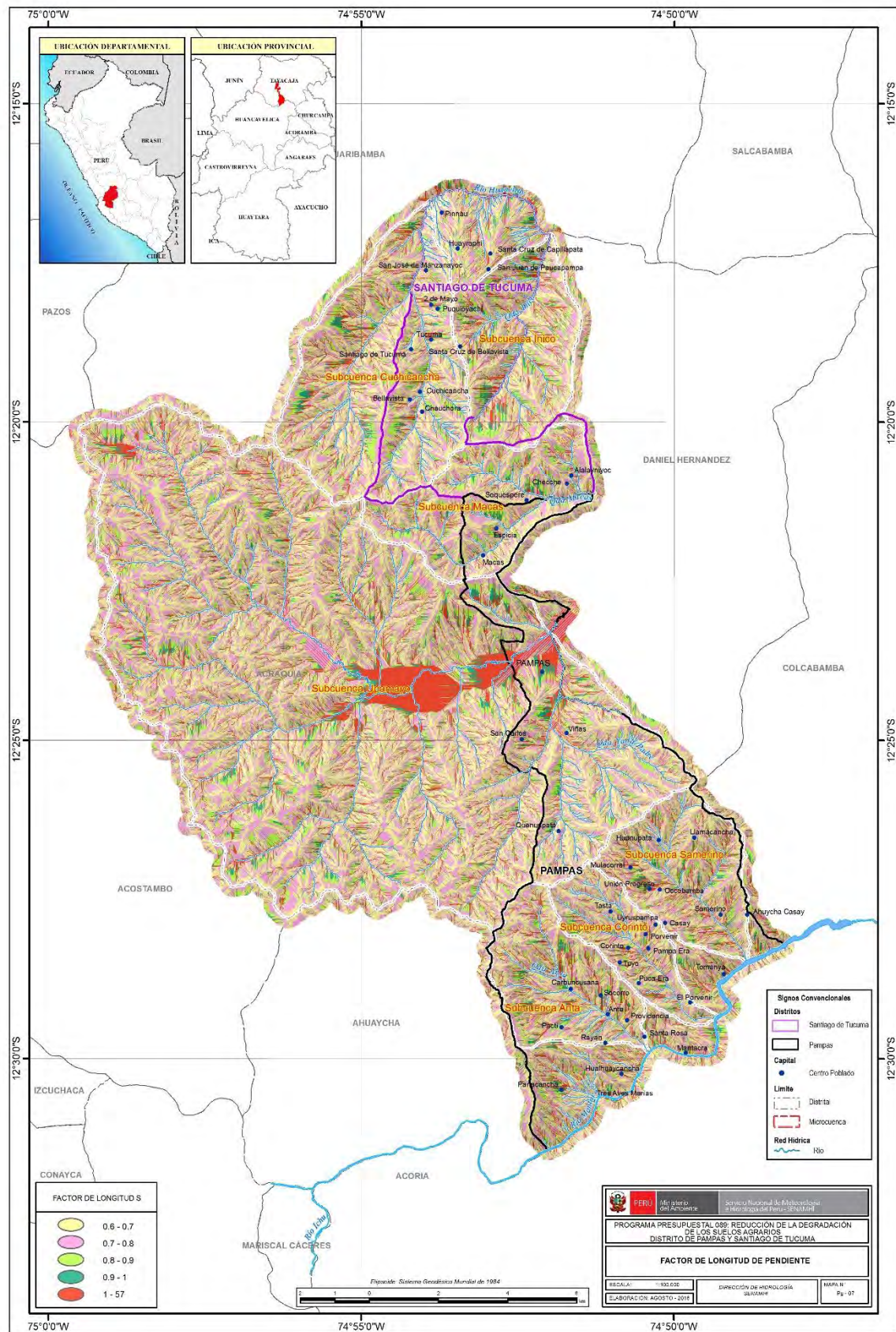




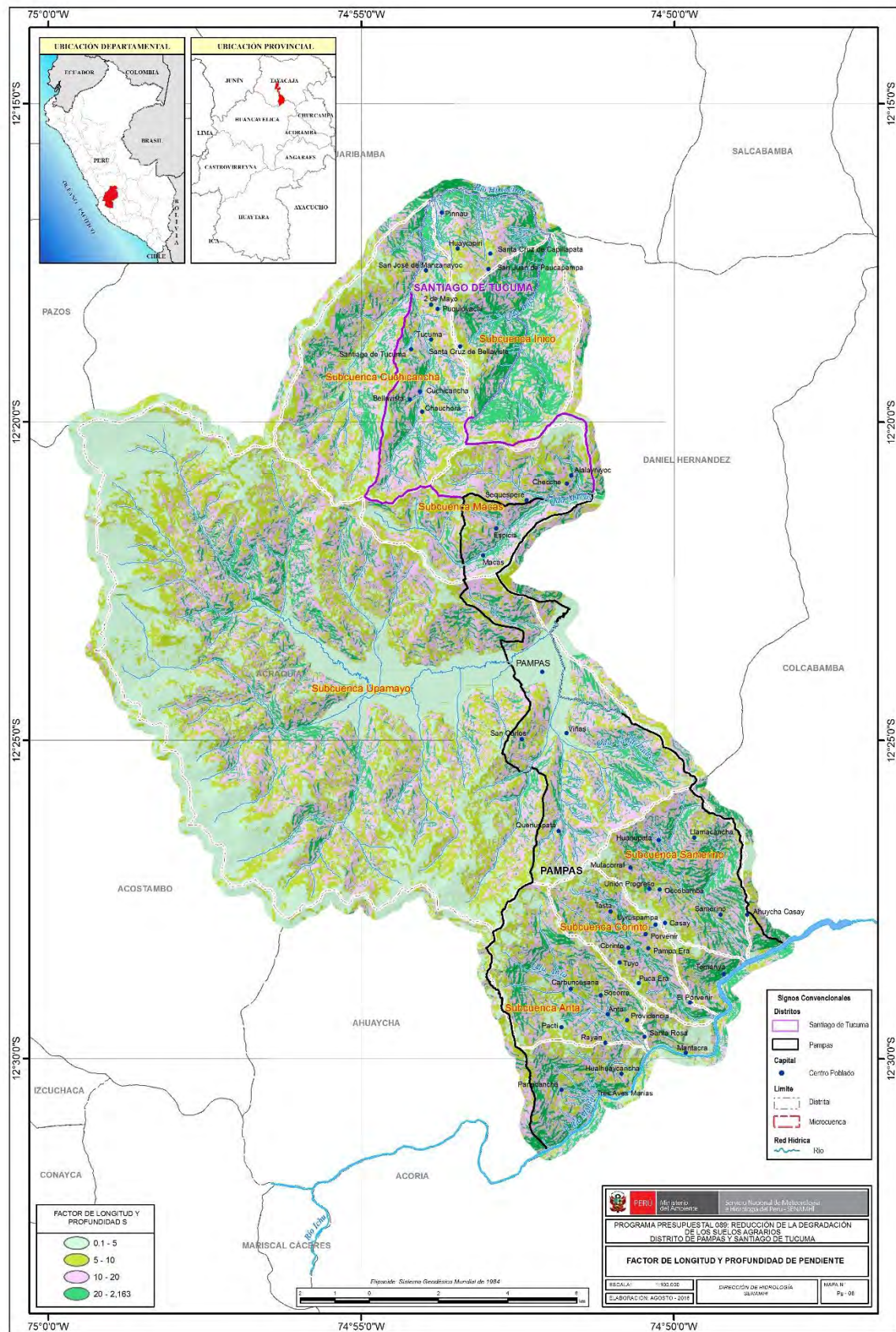






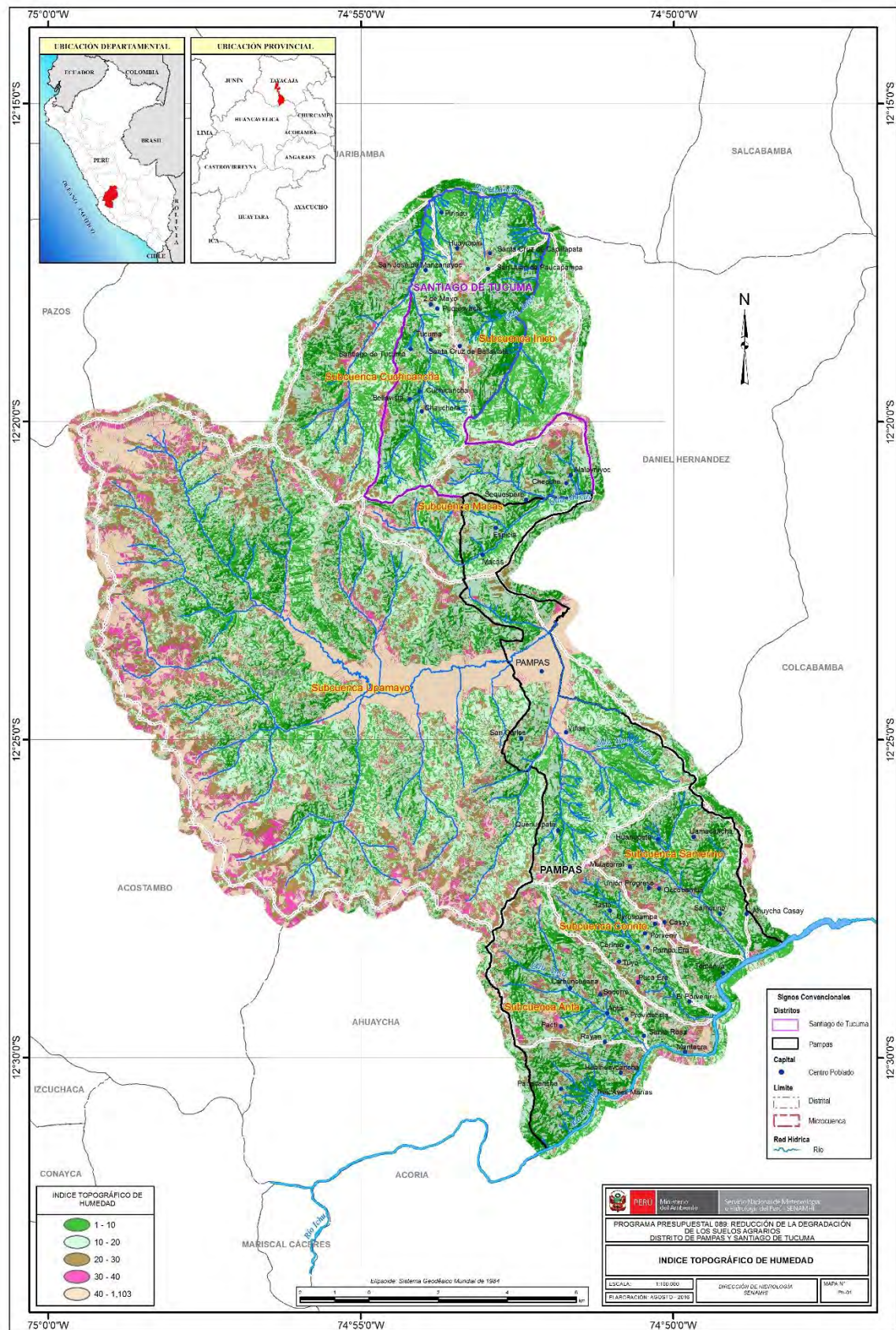








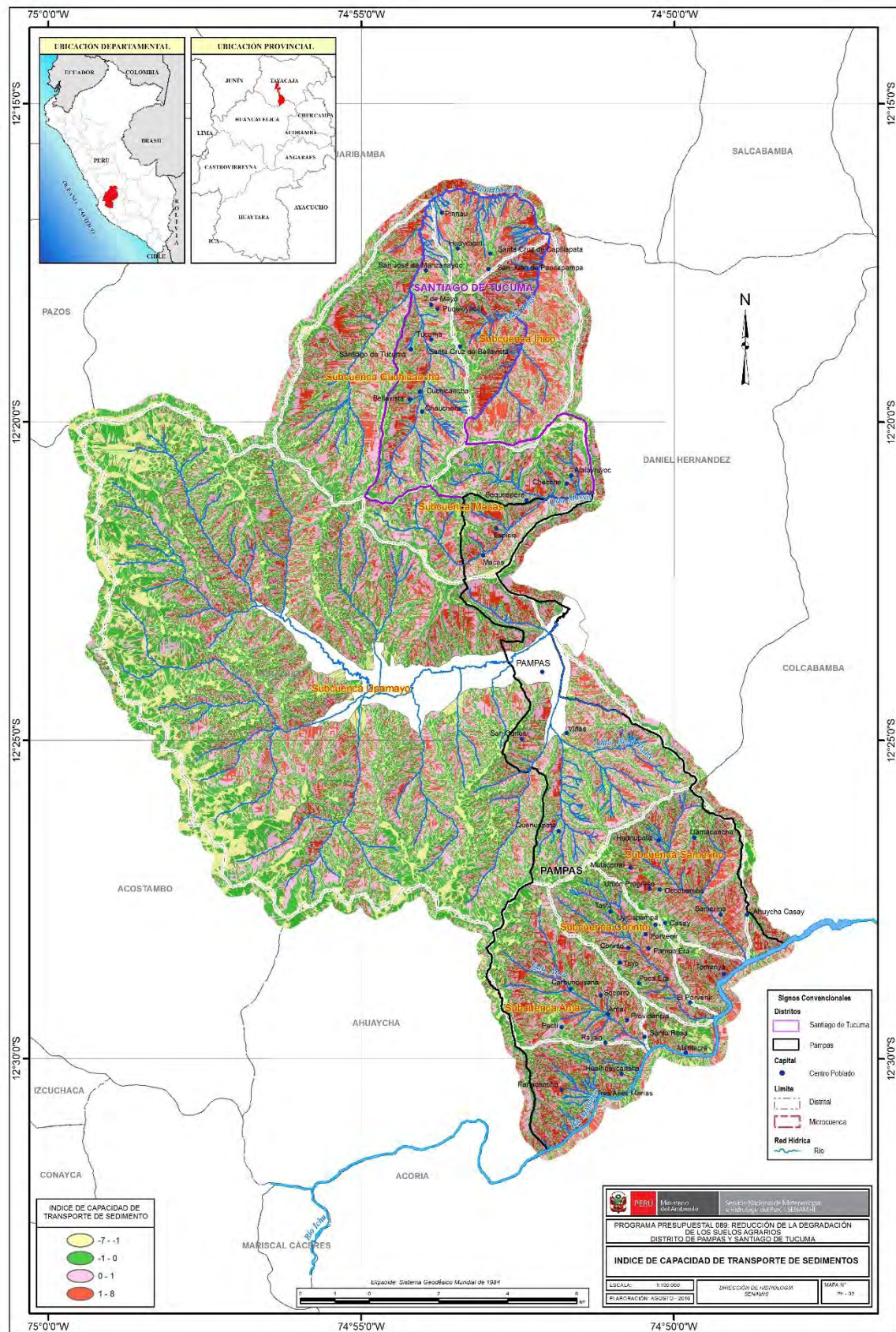
### 11.3.4 Mapas de Parámetros Hidrológicos





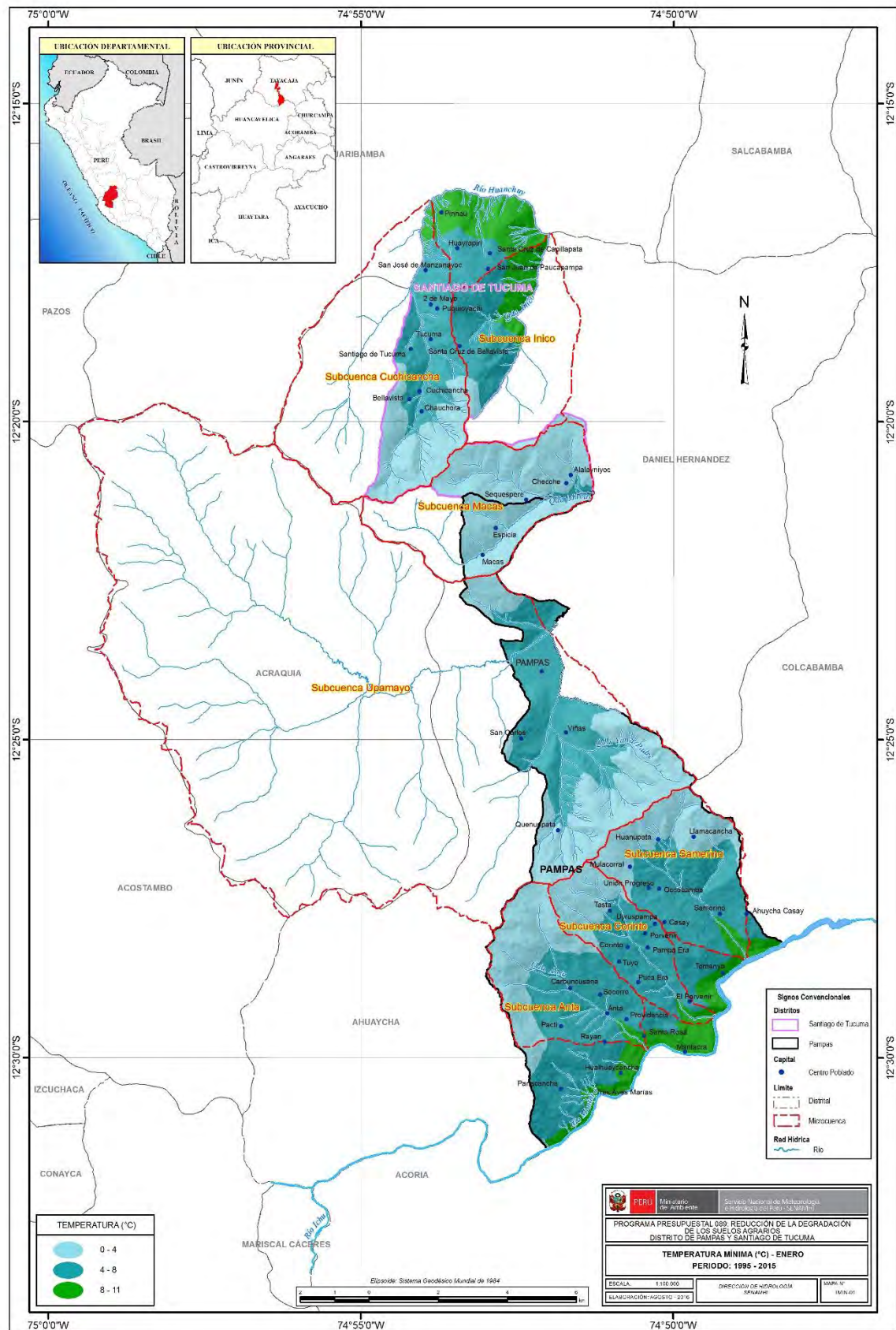


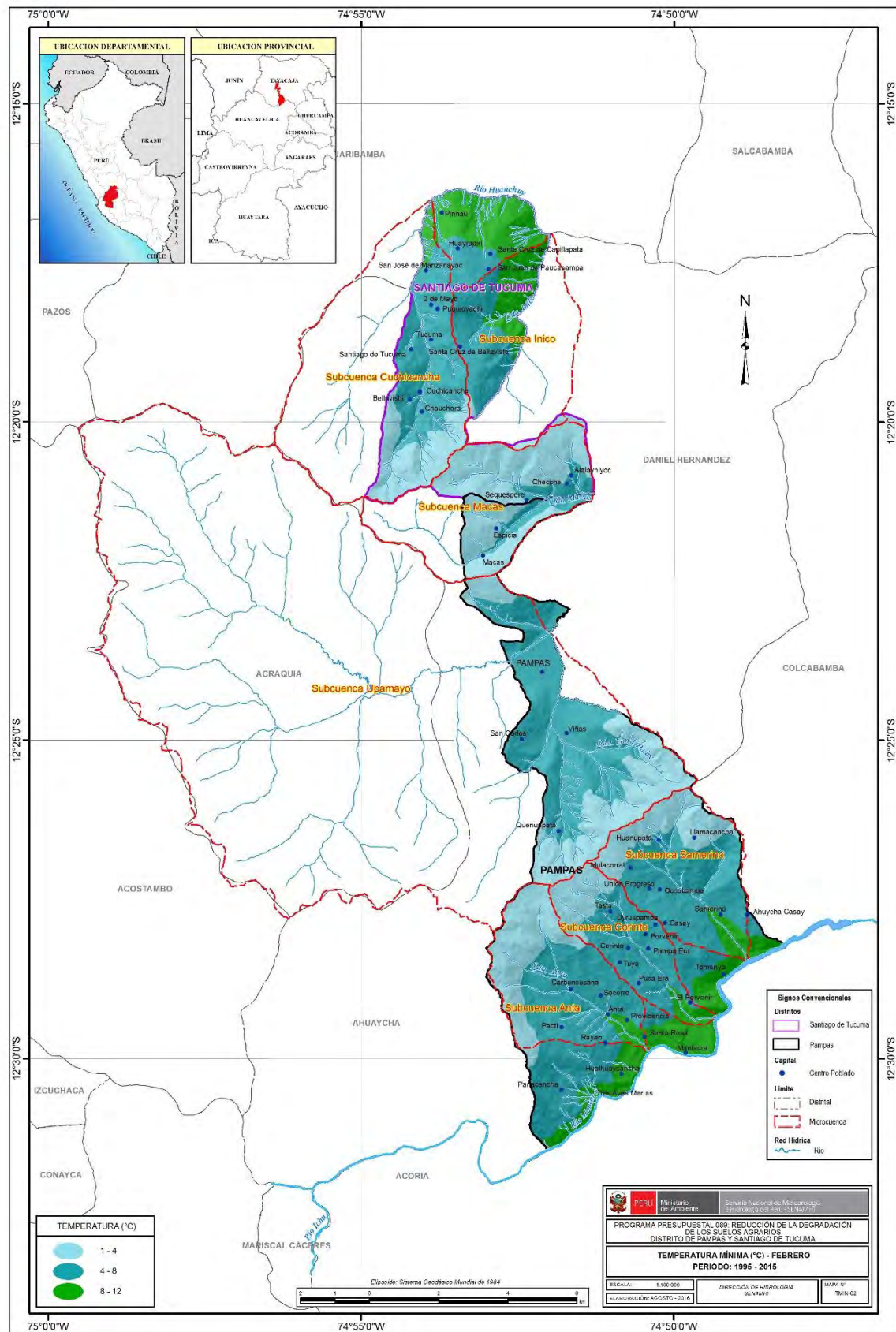




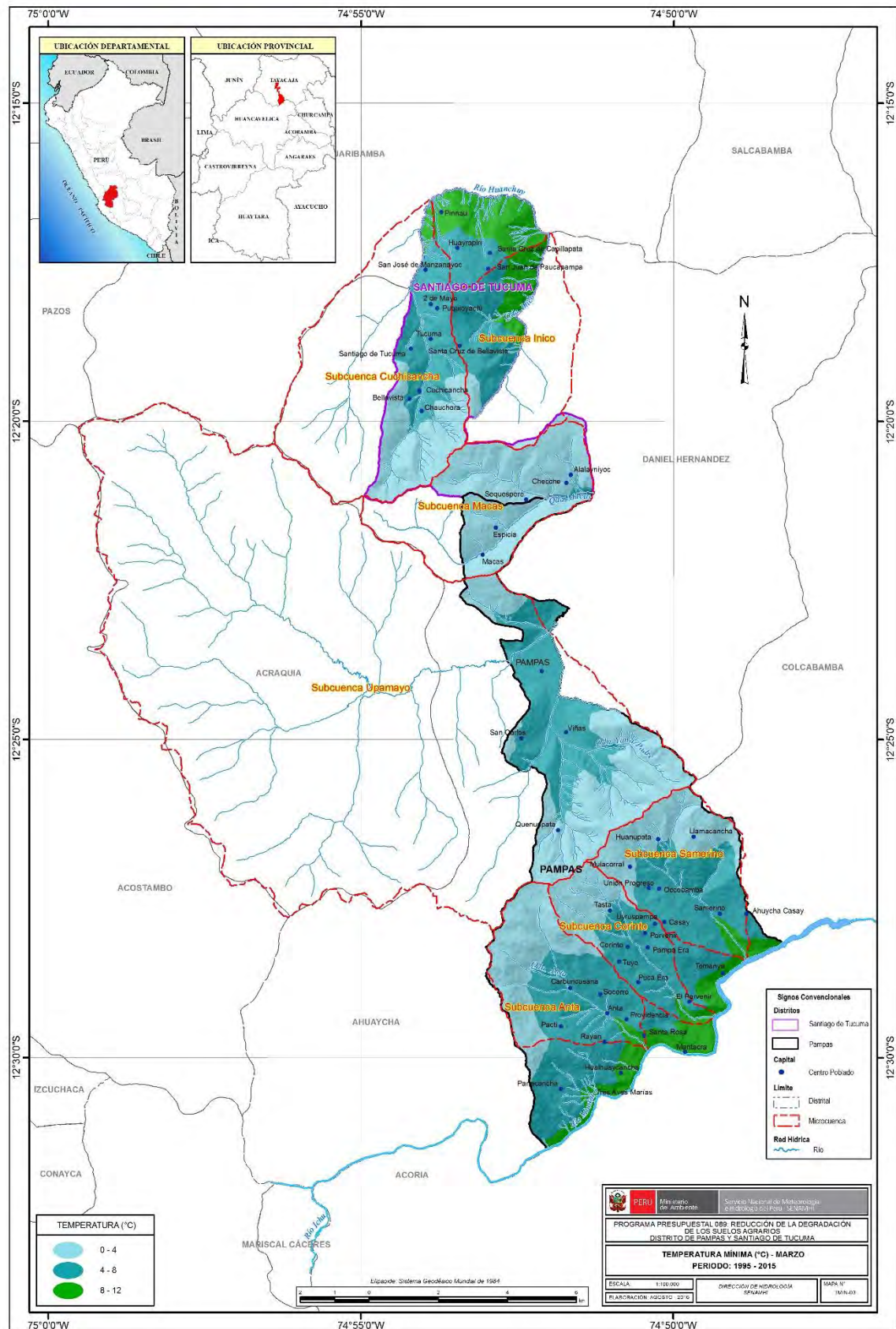


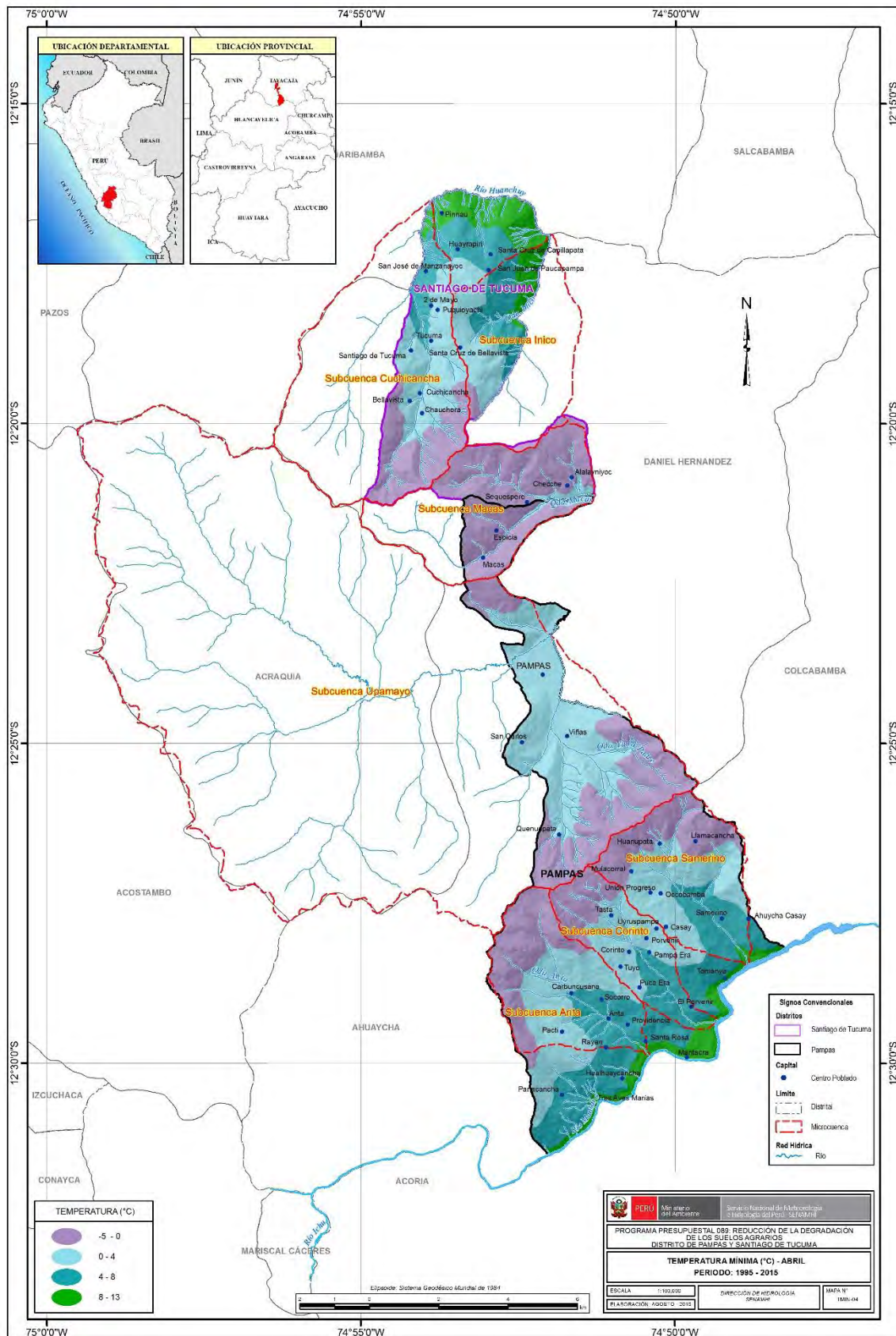
### 11.3.5 Mapas de Temperatura Mínima (°C)



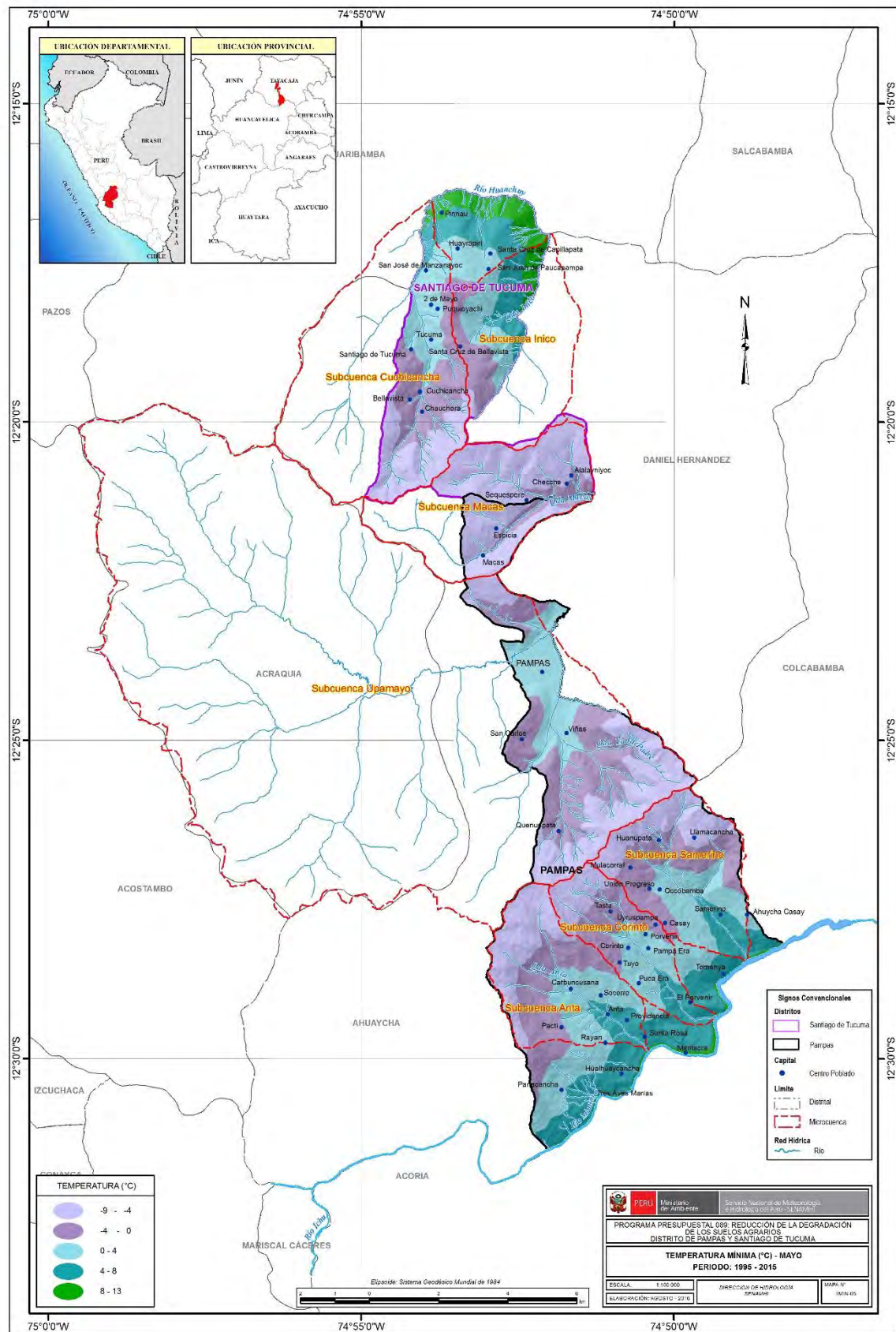


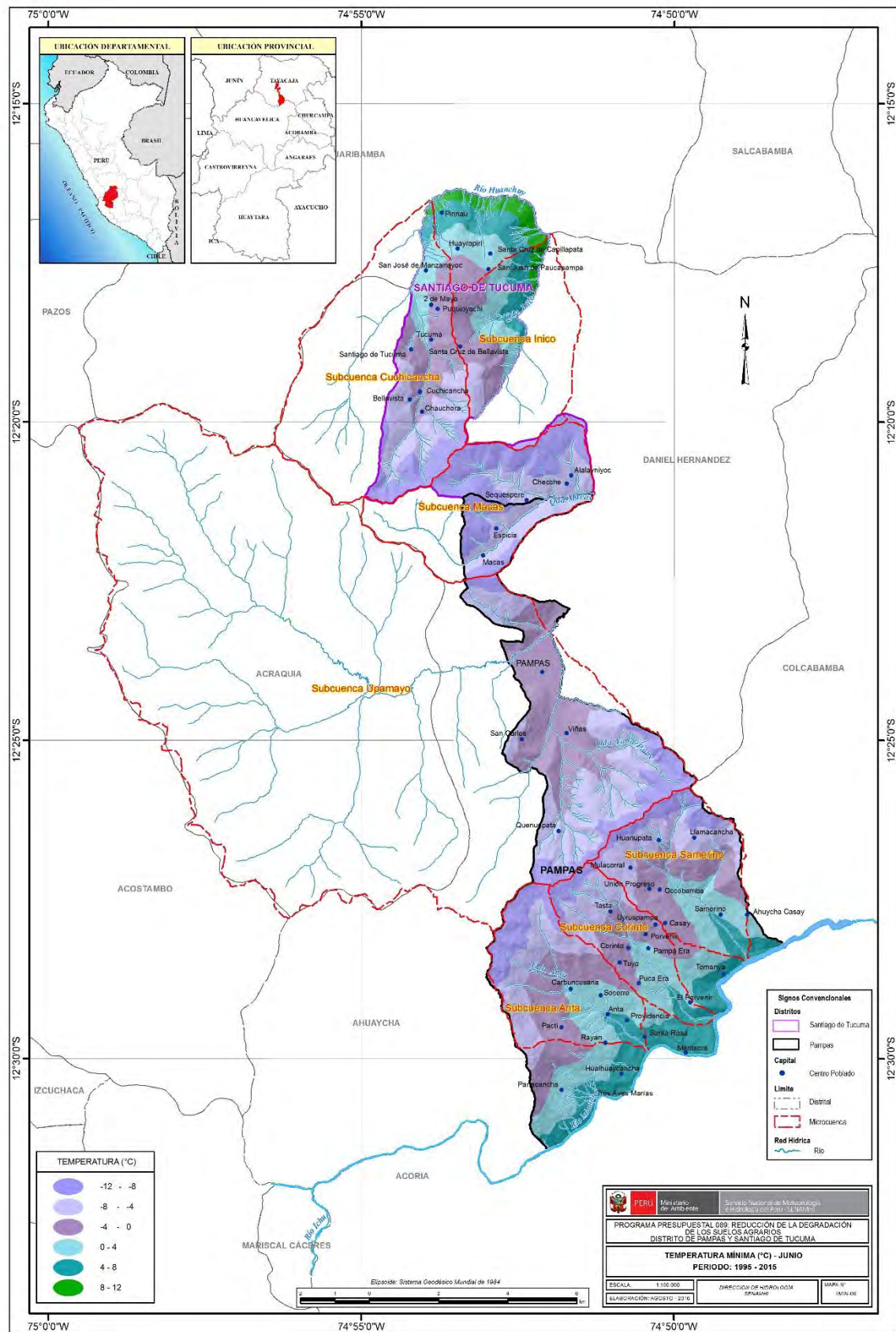




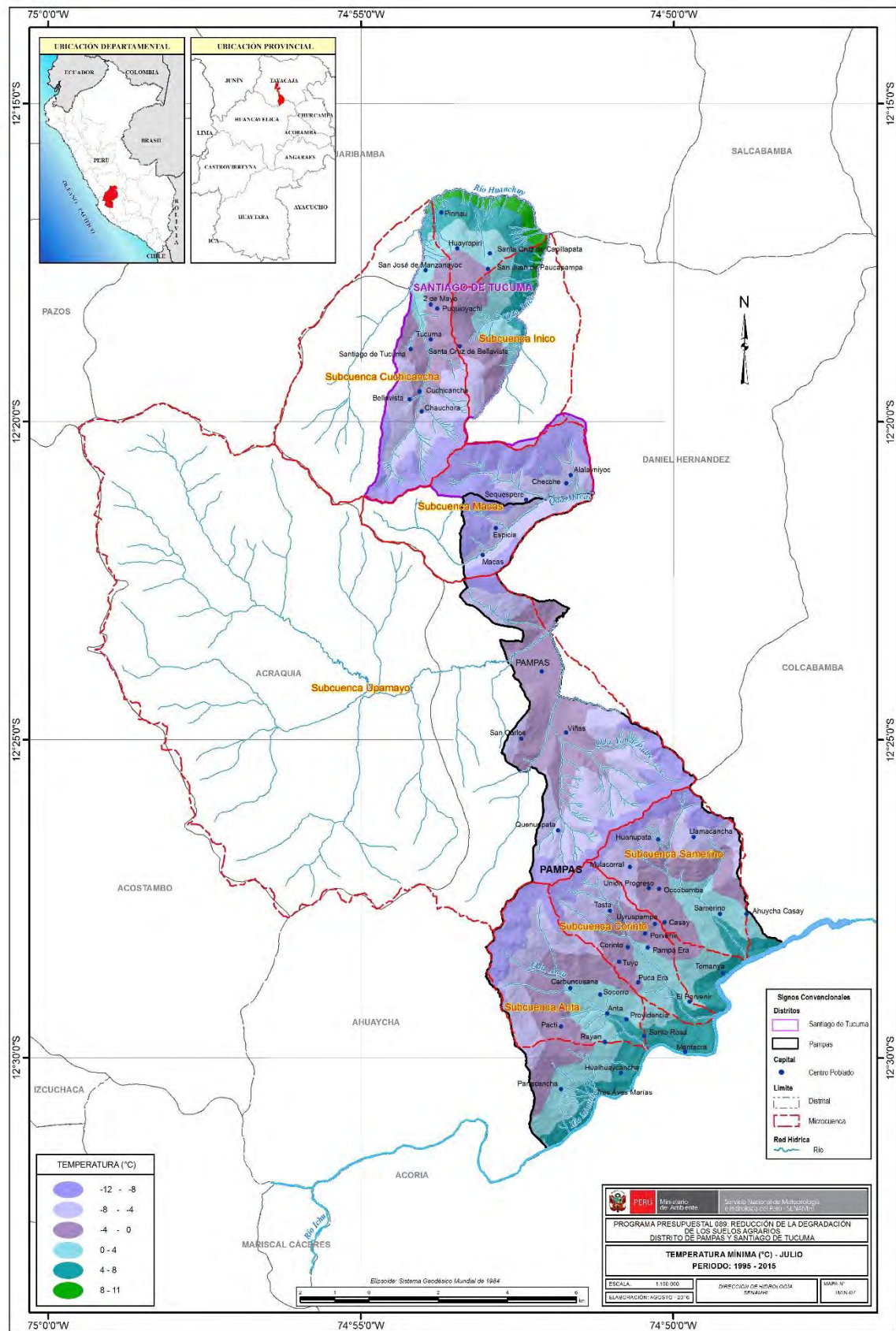


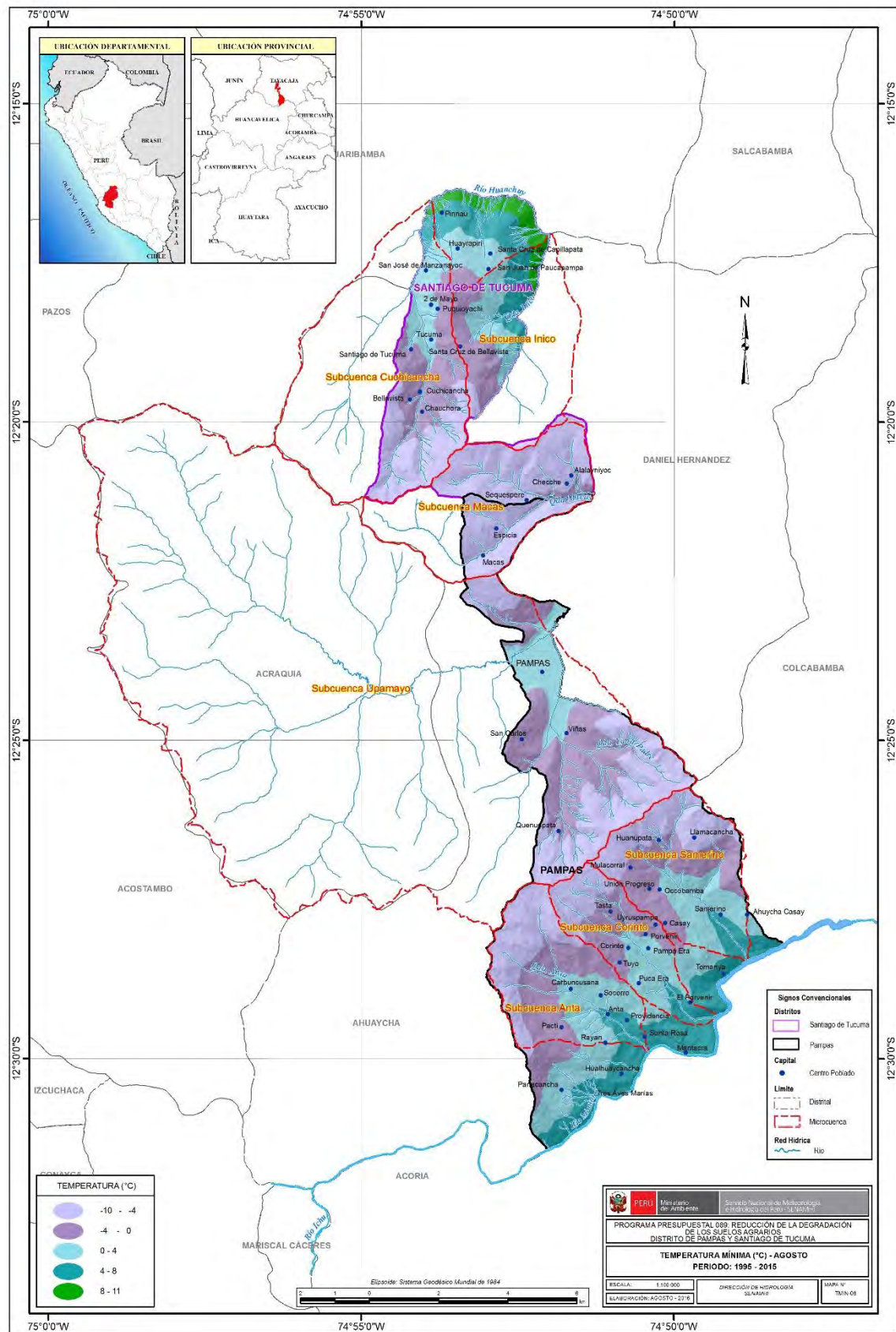




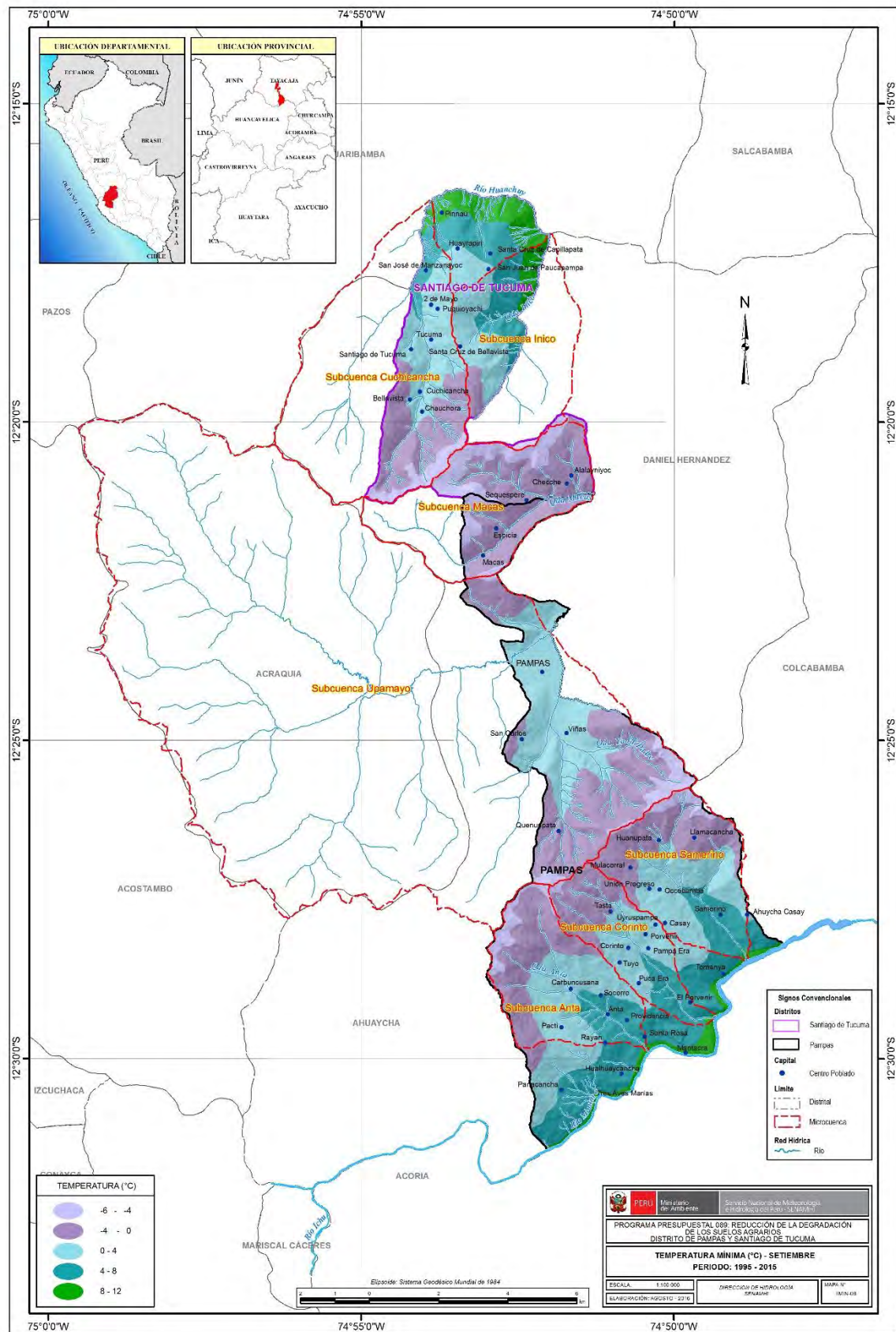


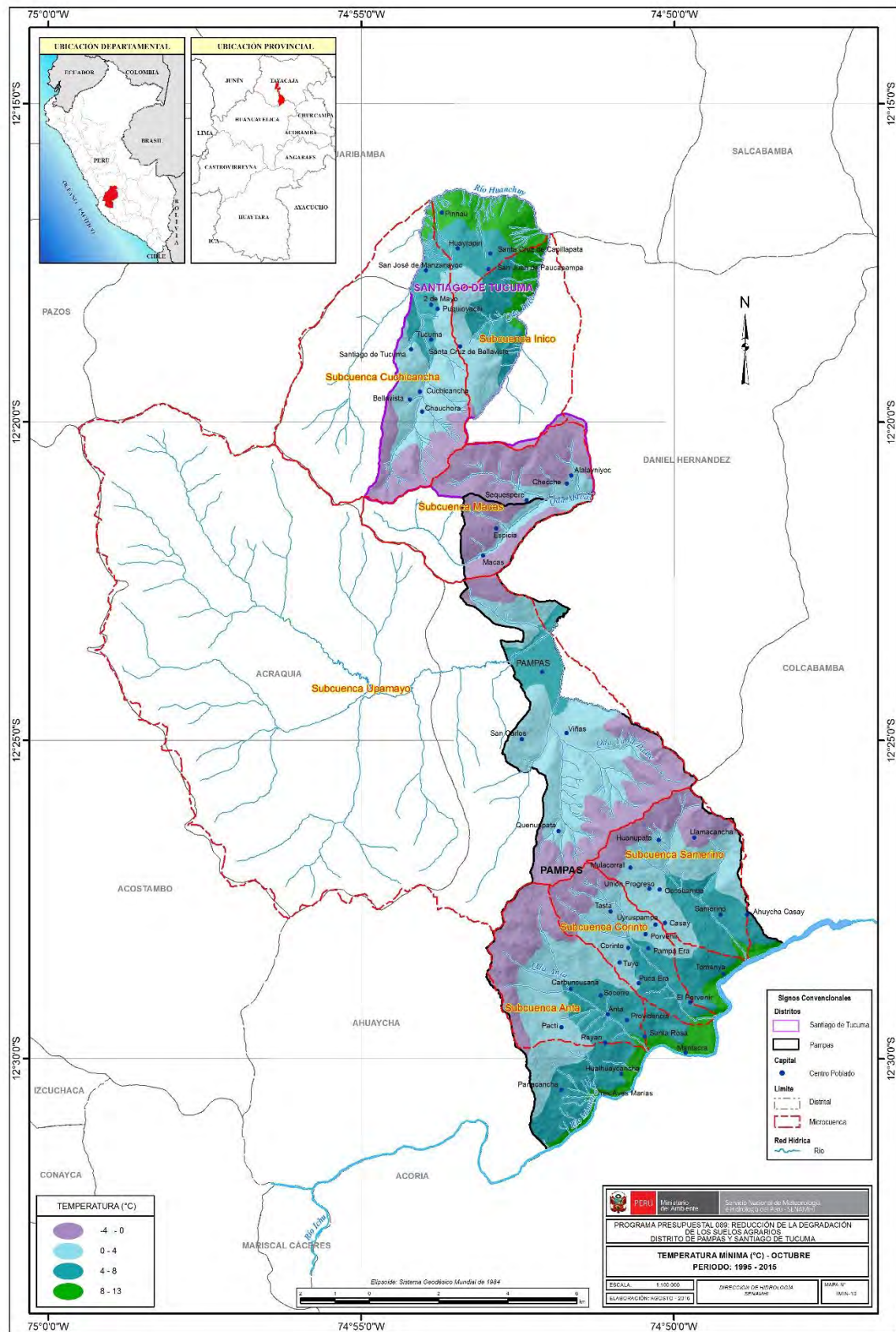




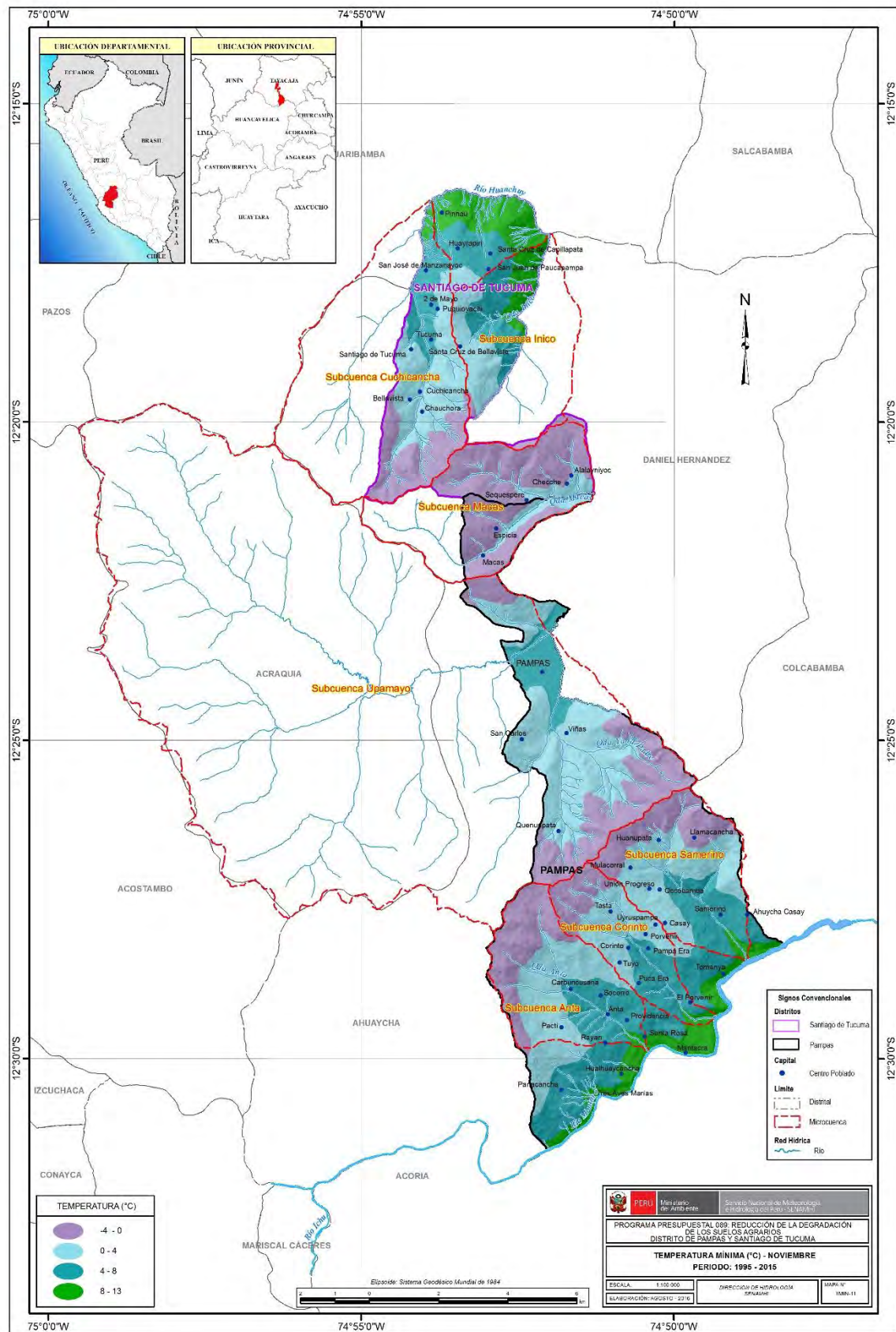


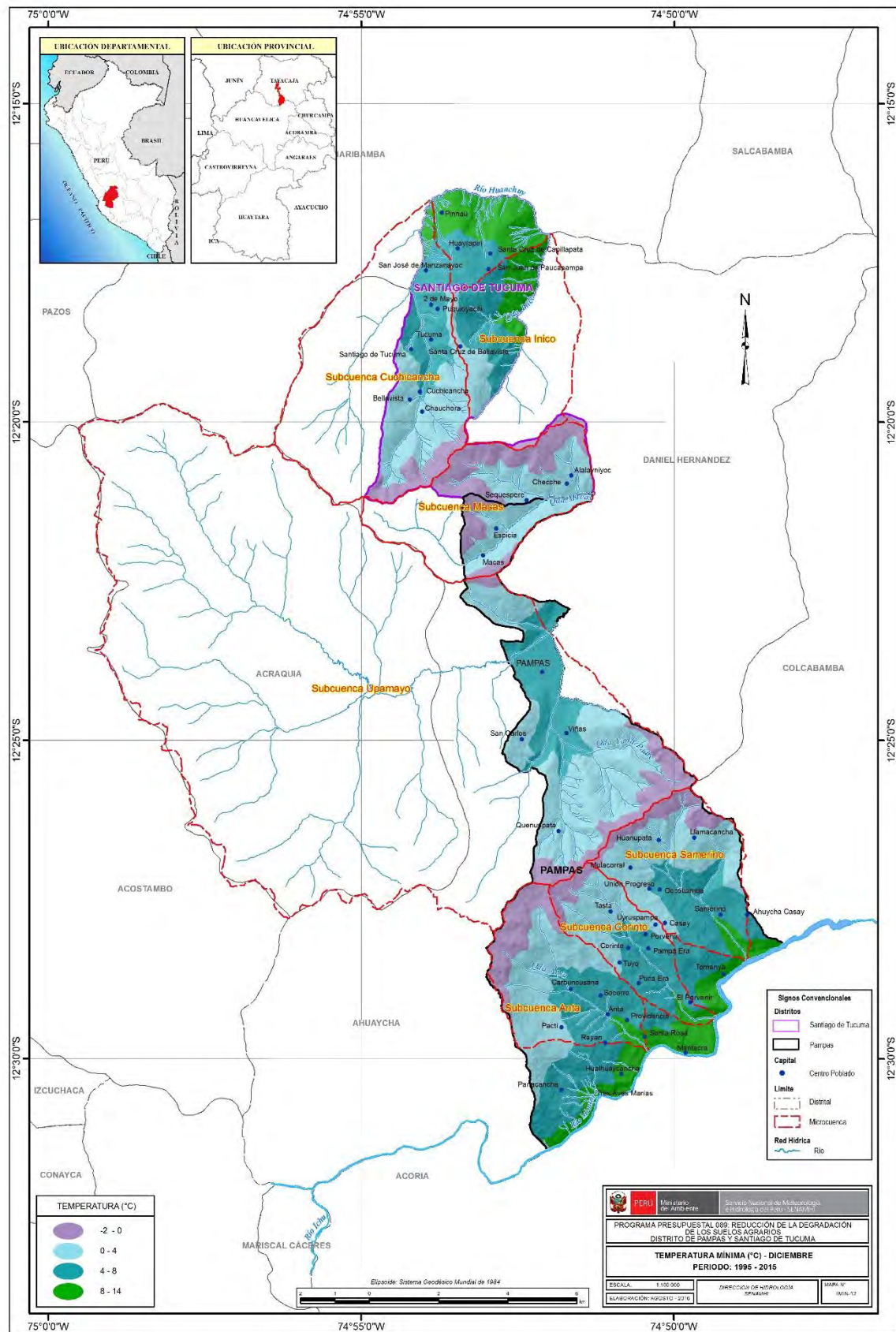




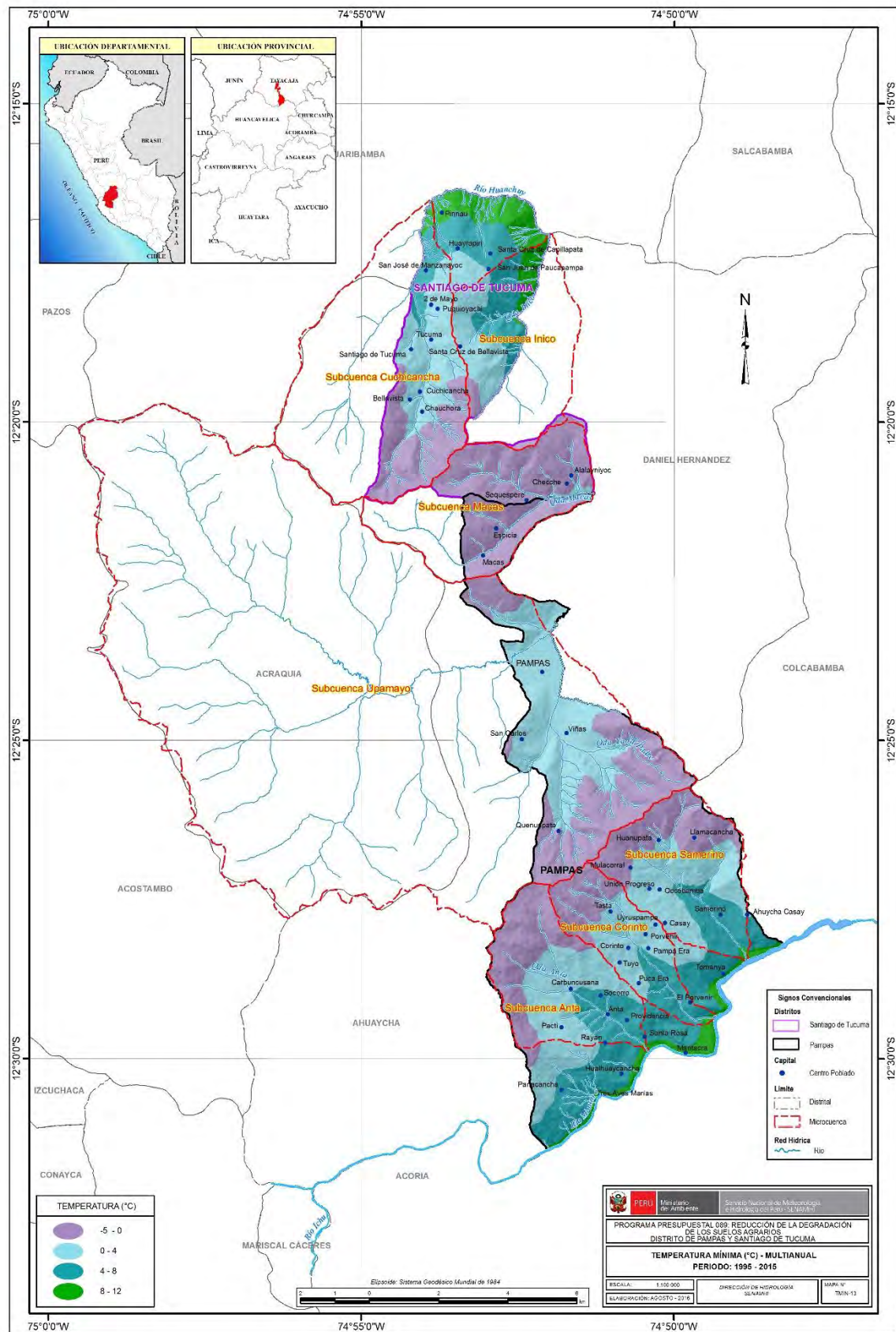




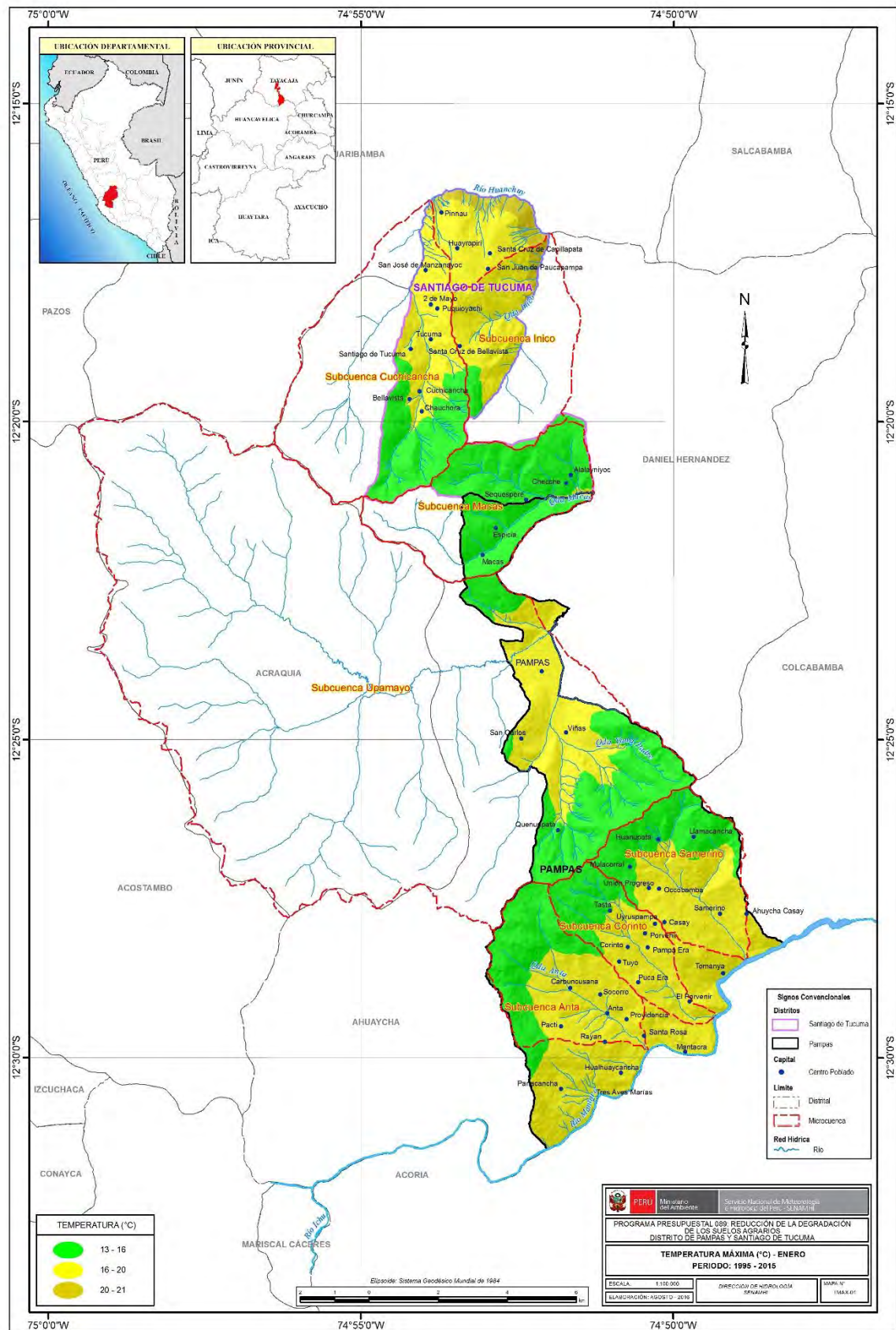




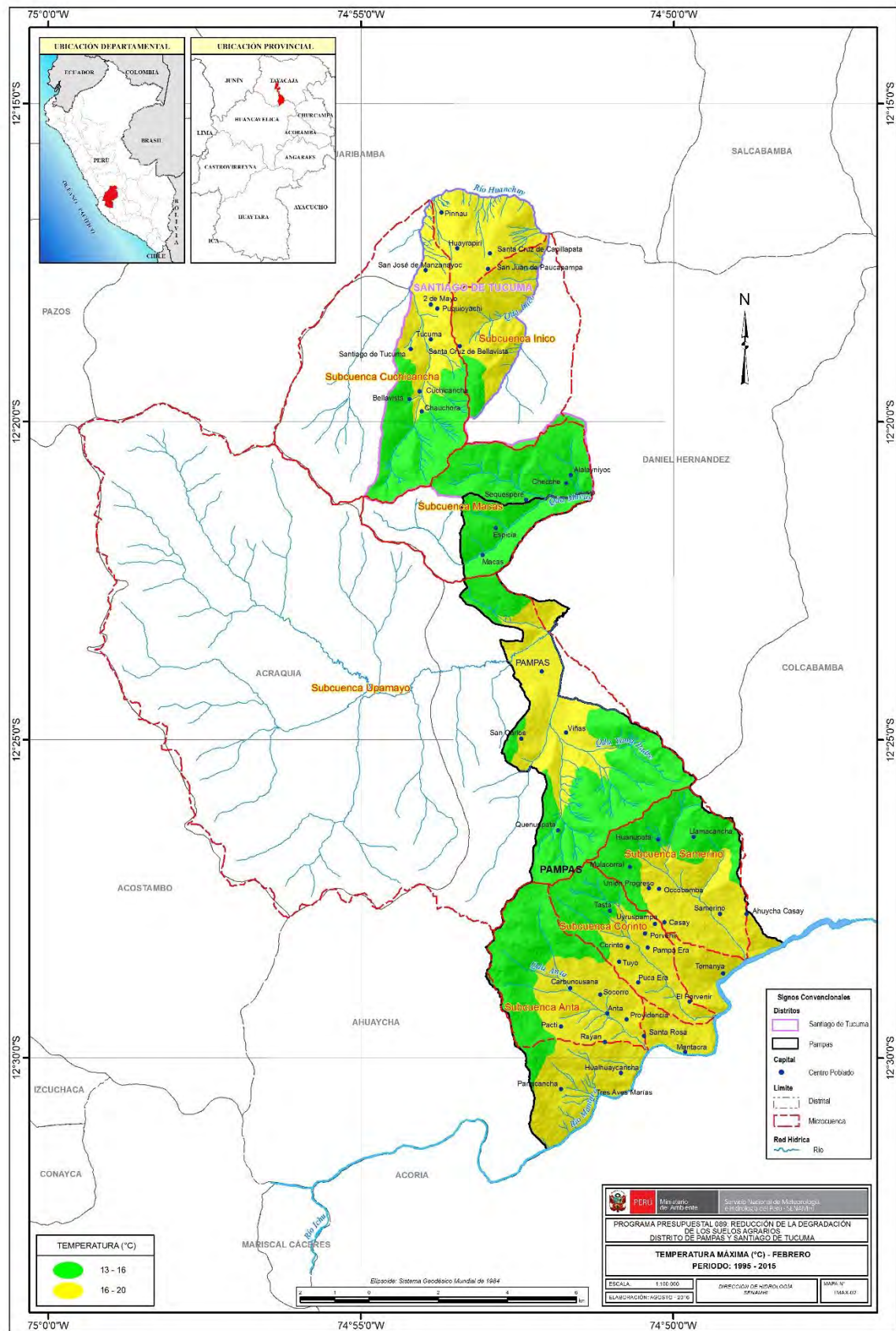


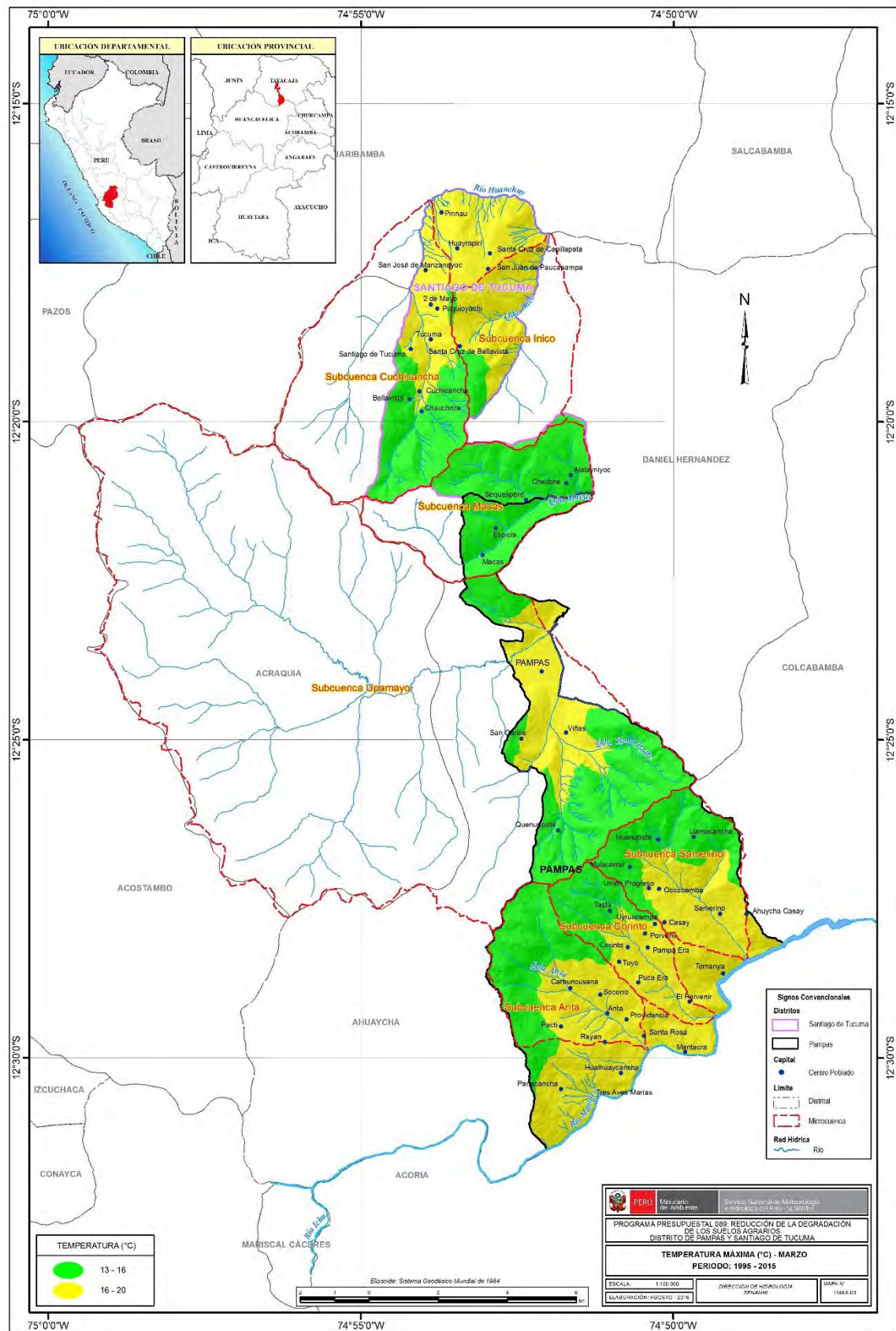


### 11.3.6 Mapas de Temperatura Máxima

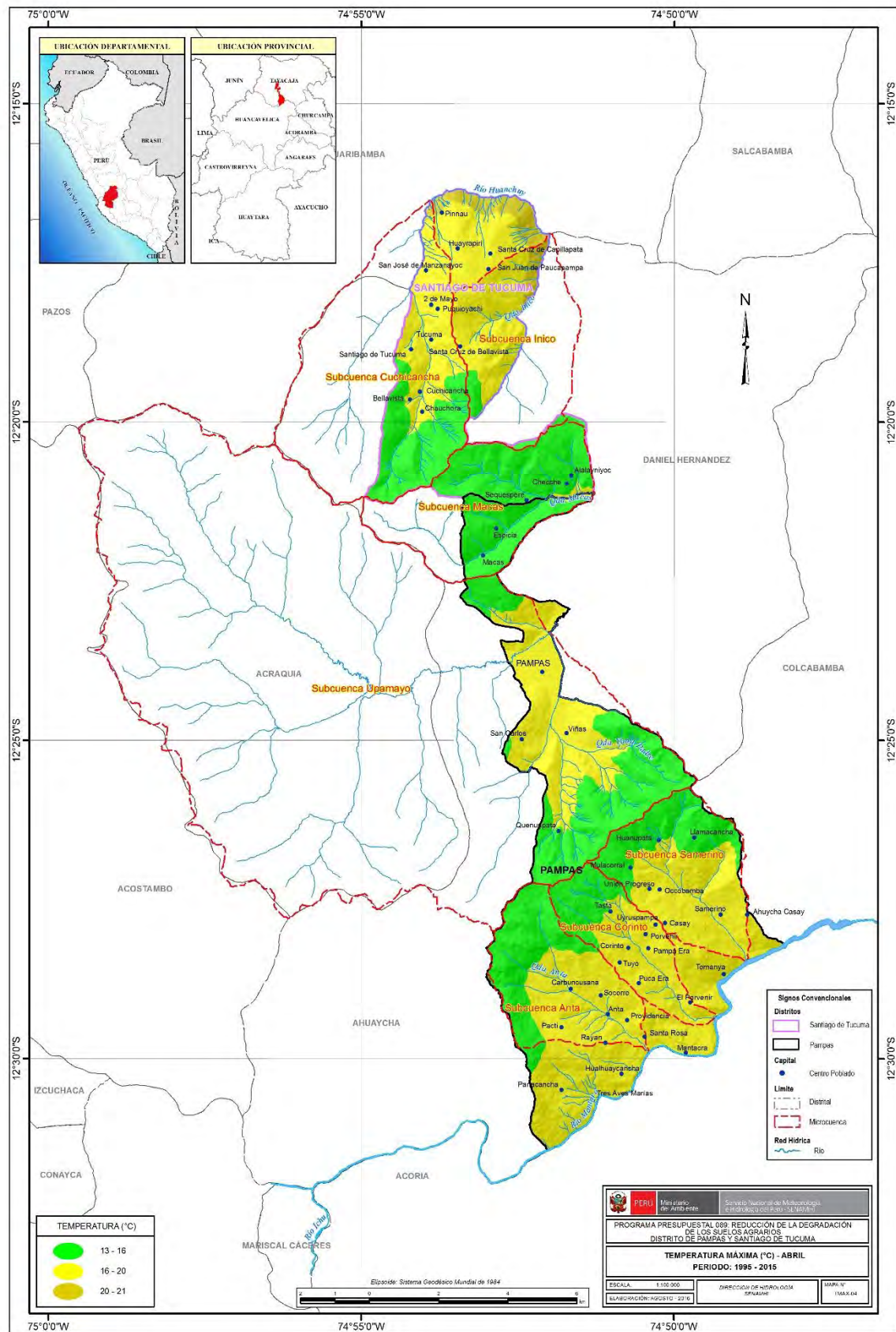


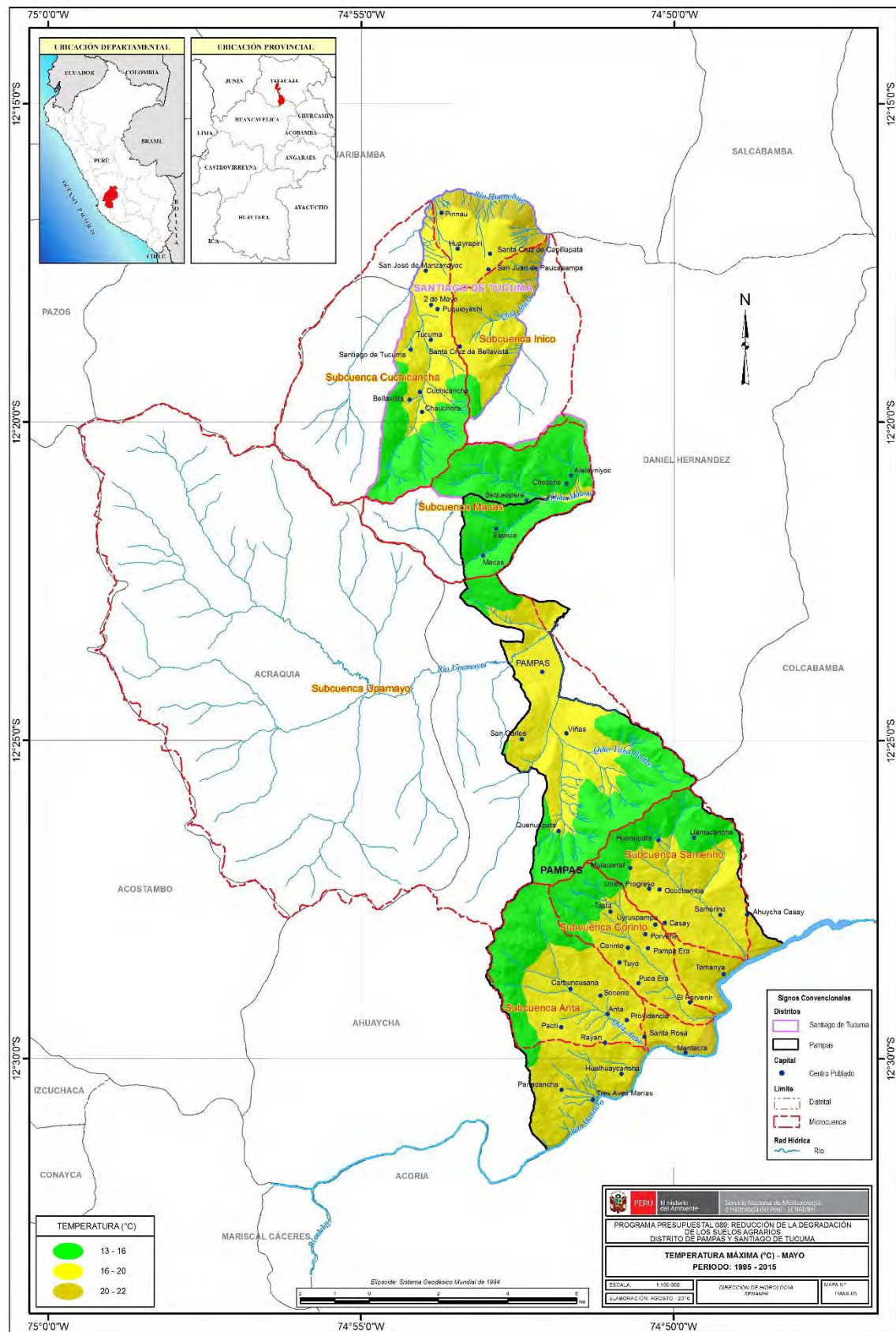




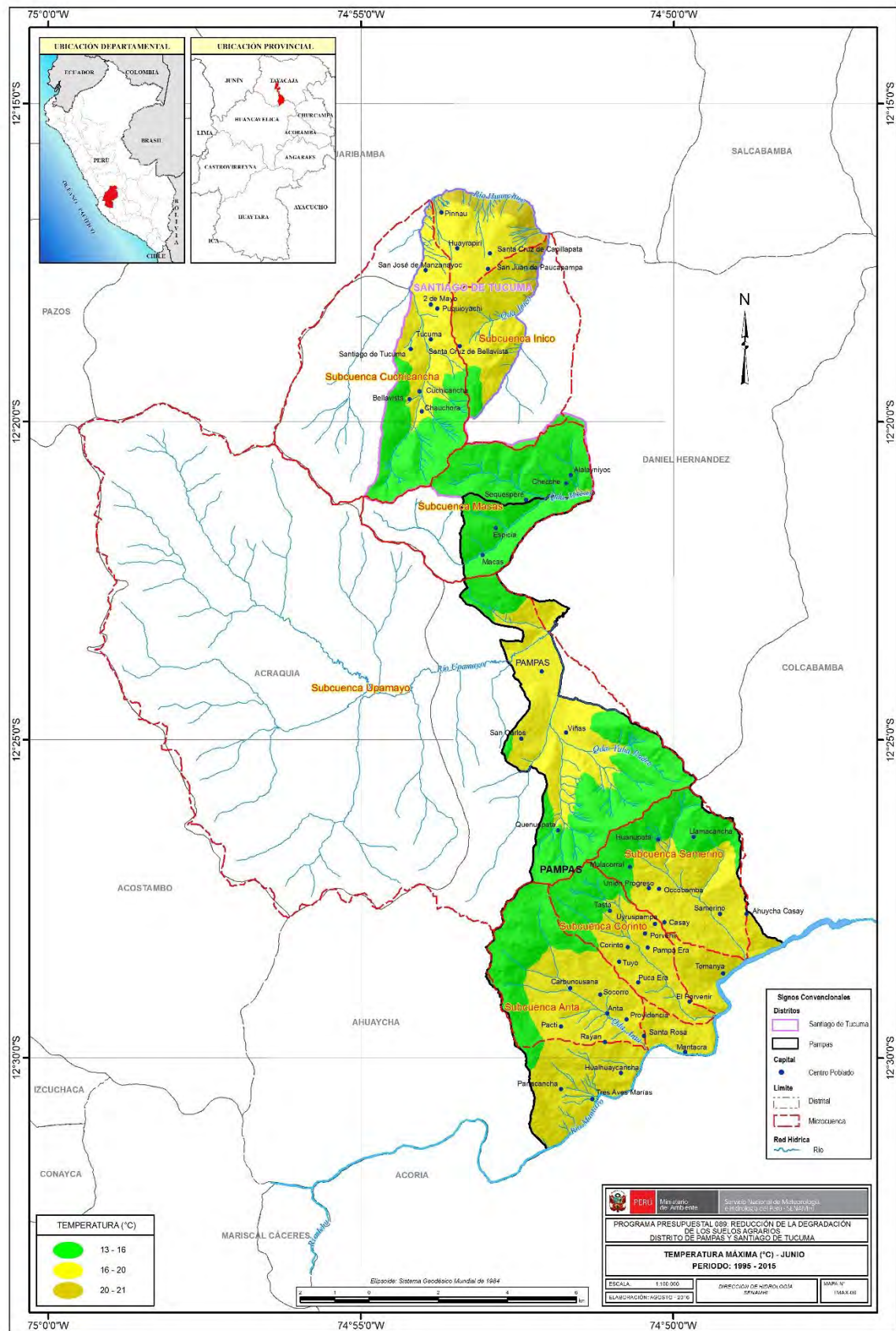


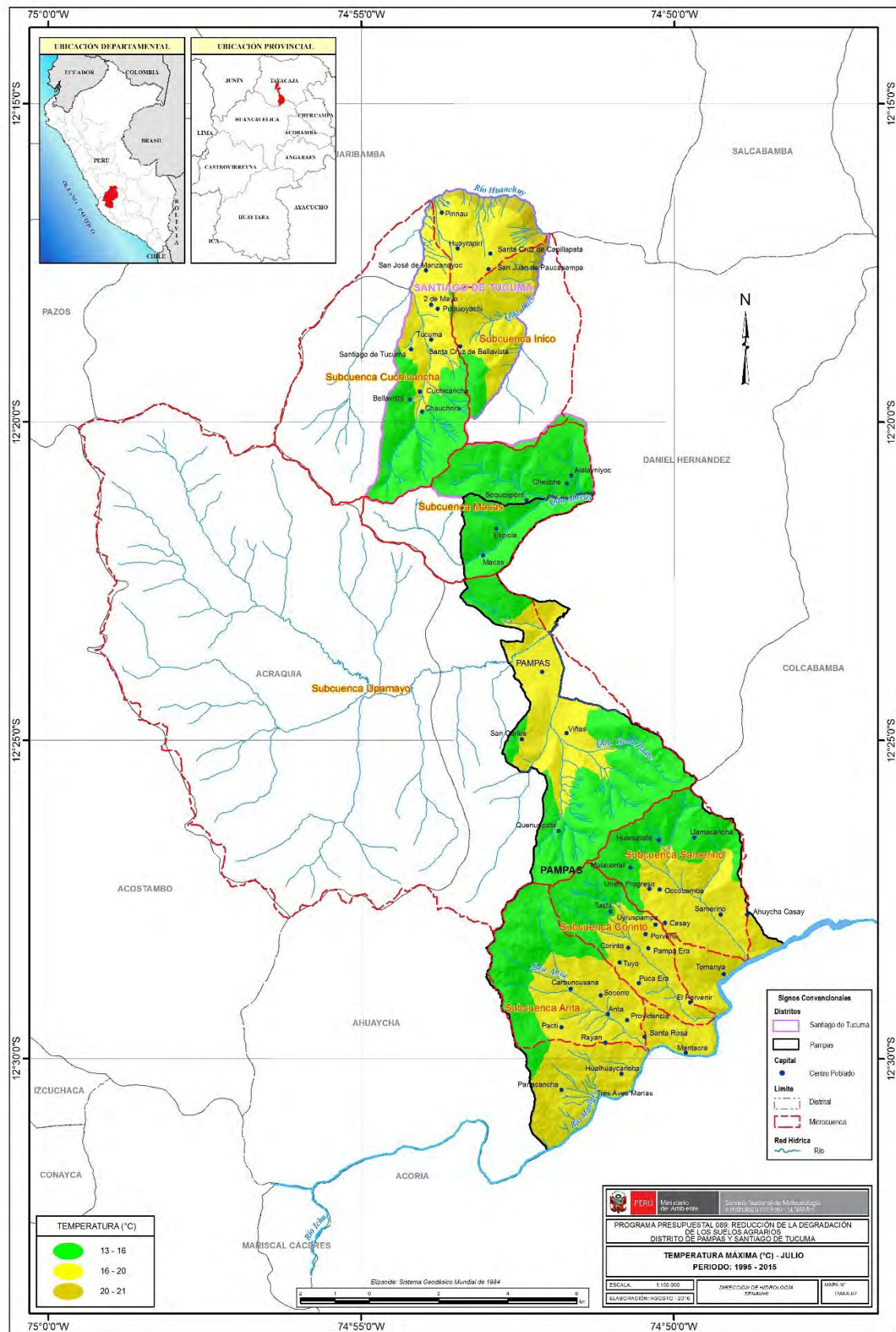




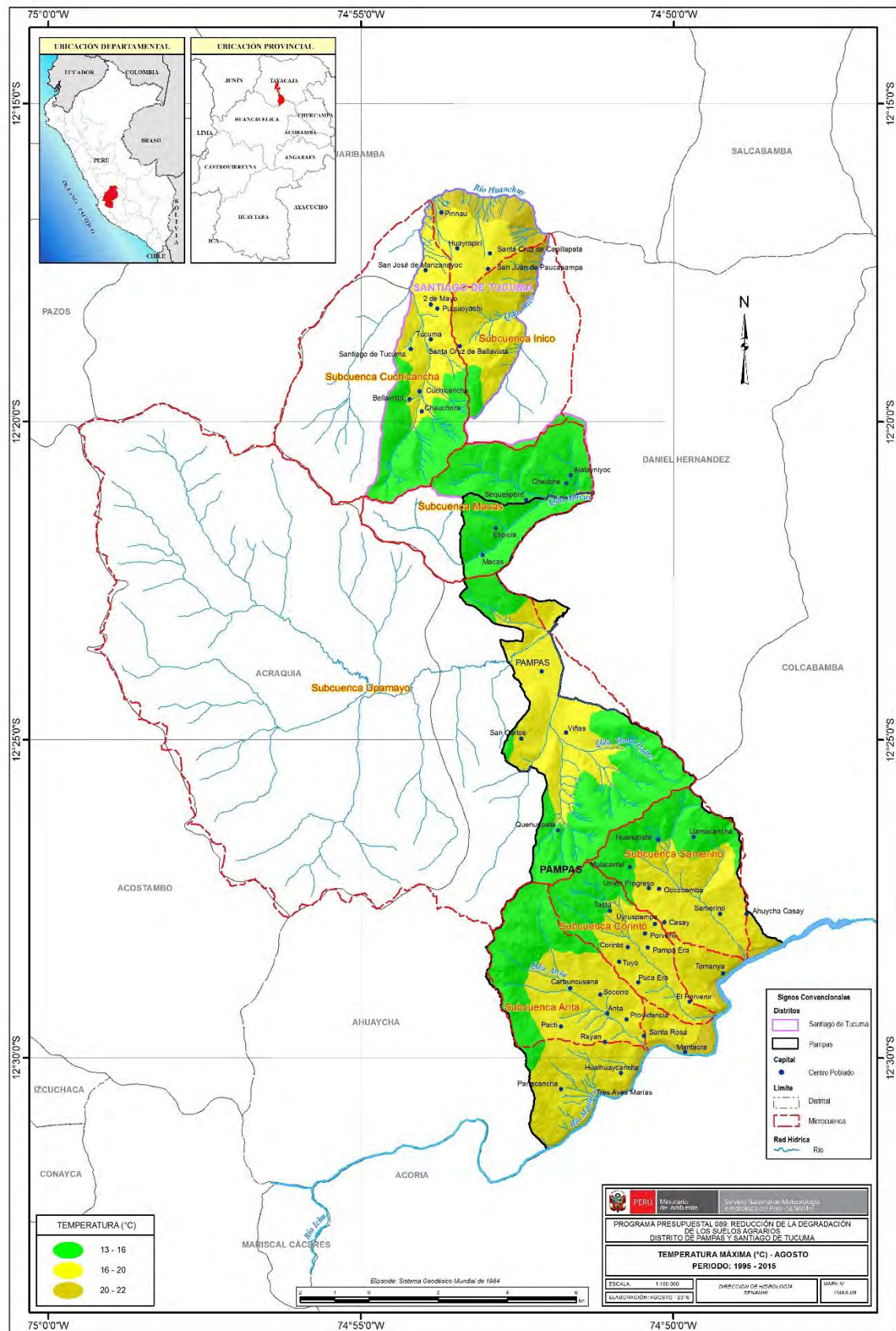


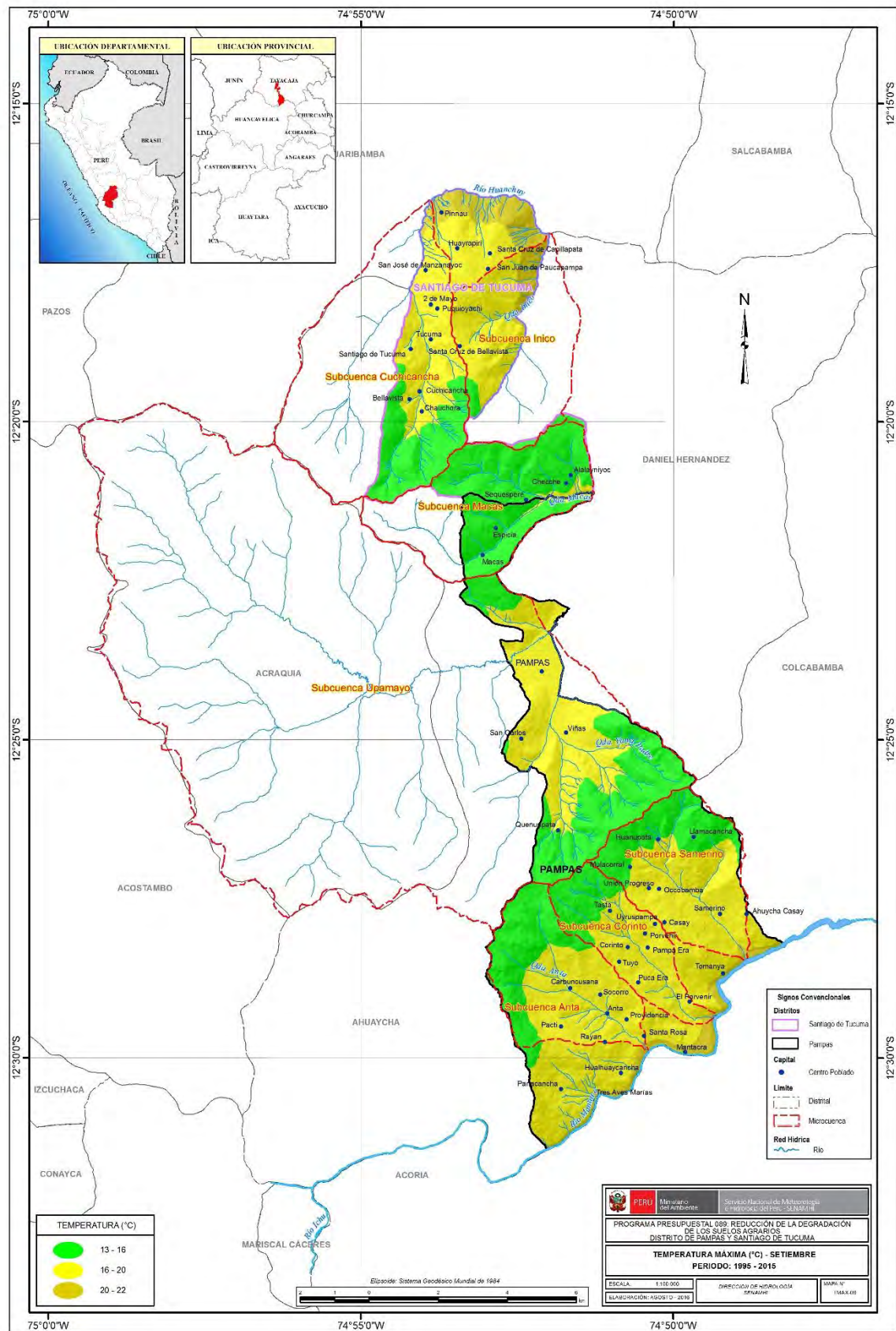




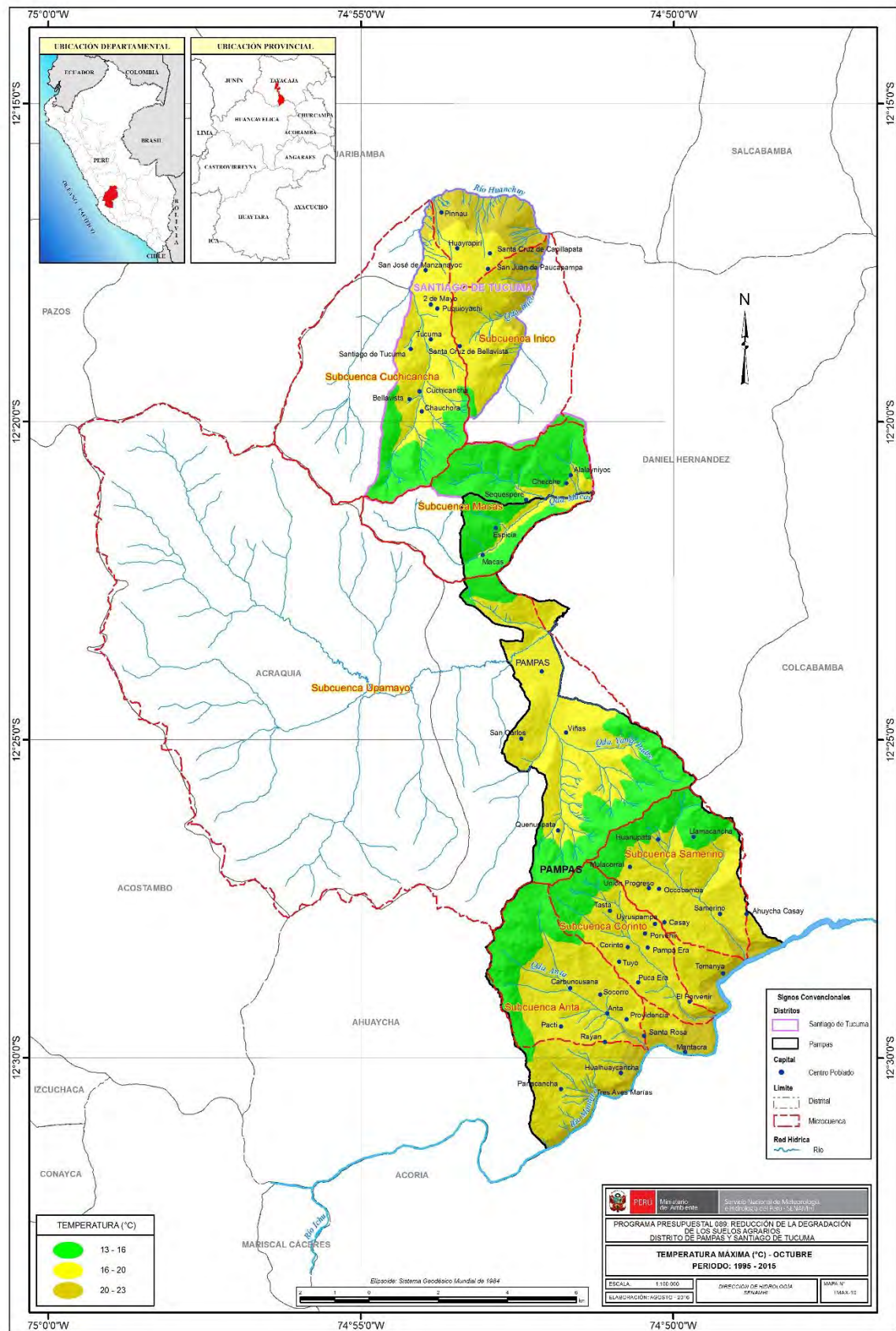


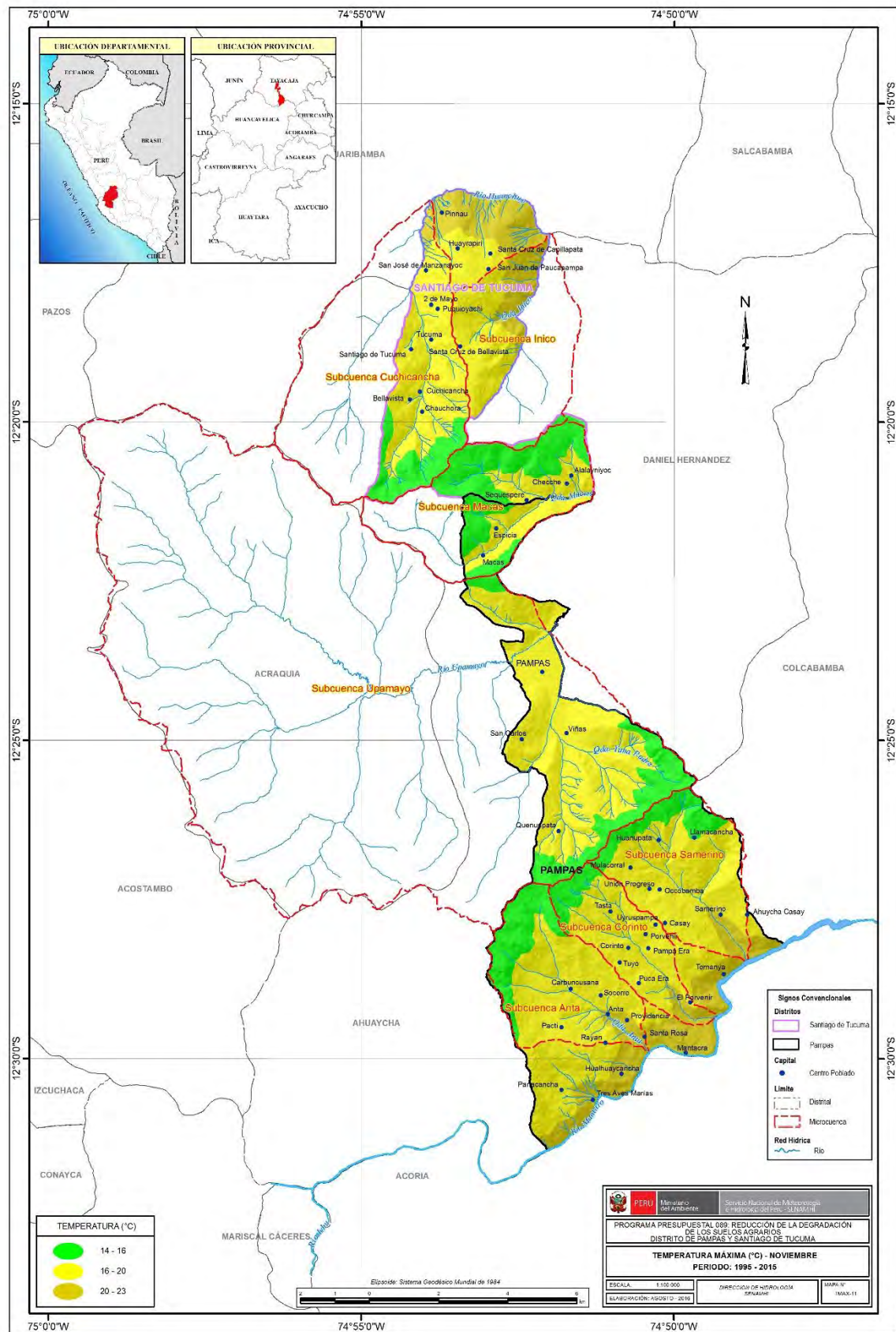




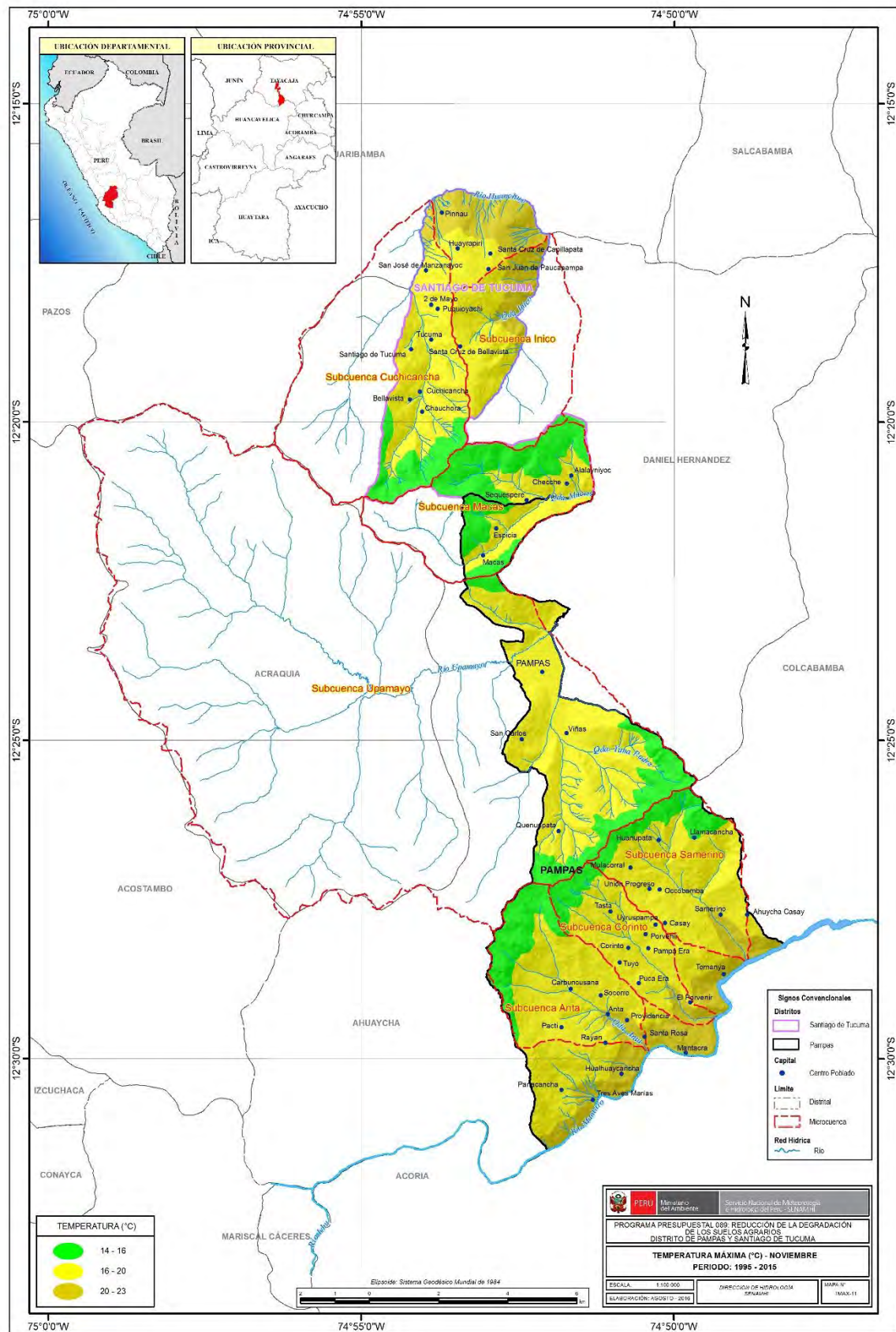






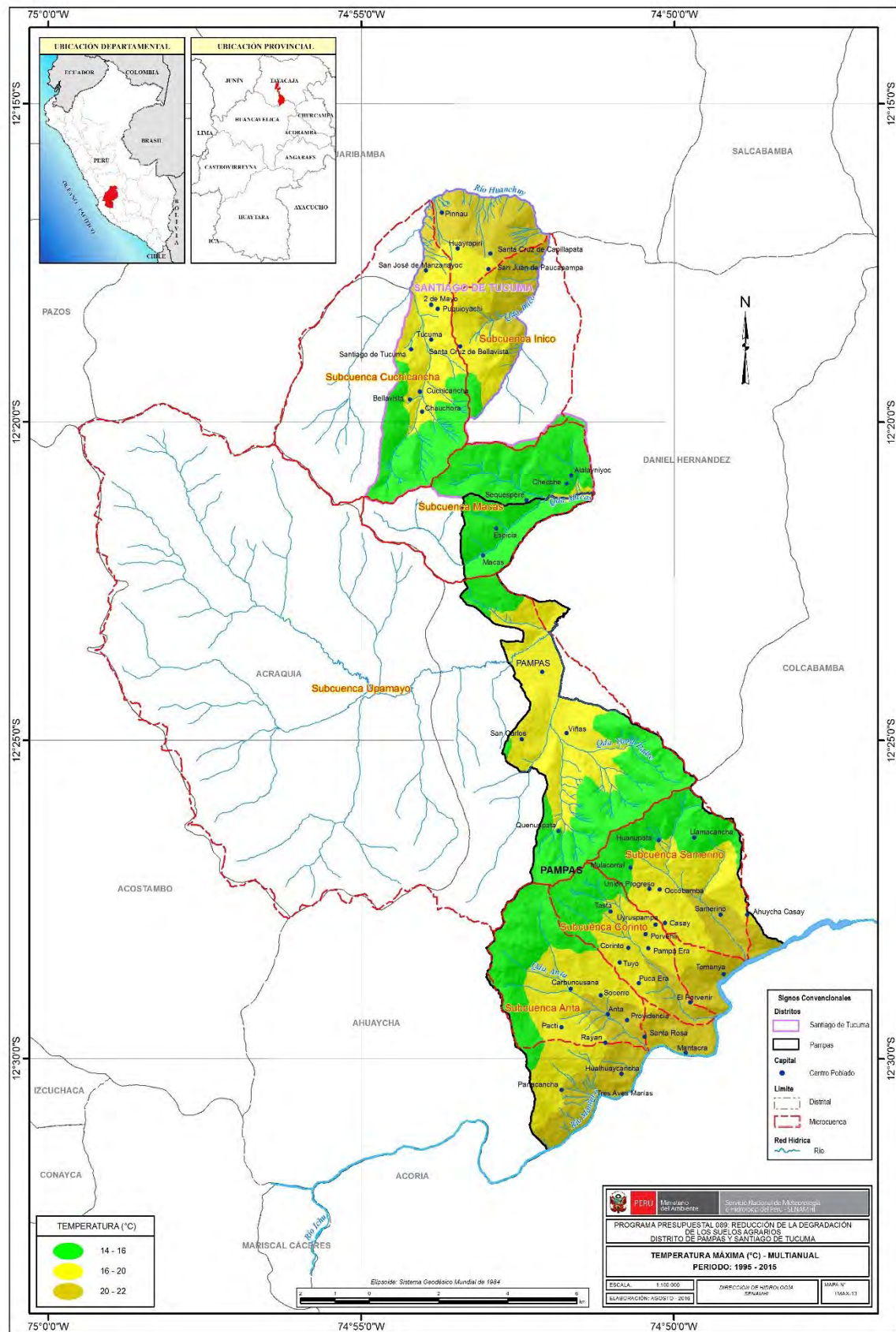




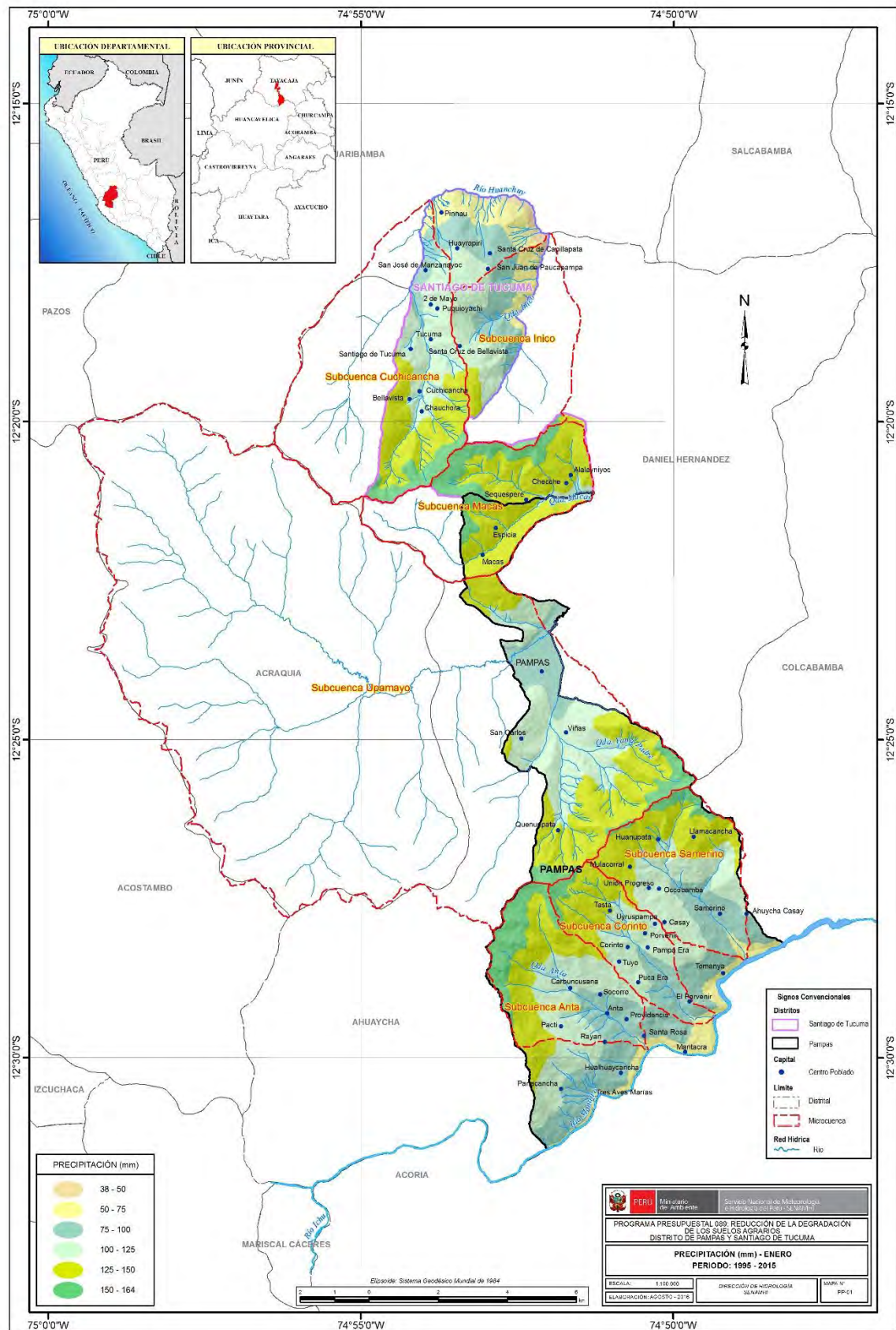




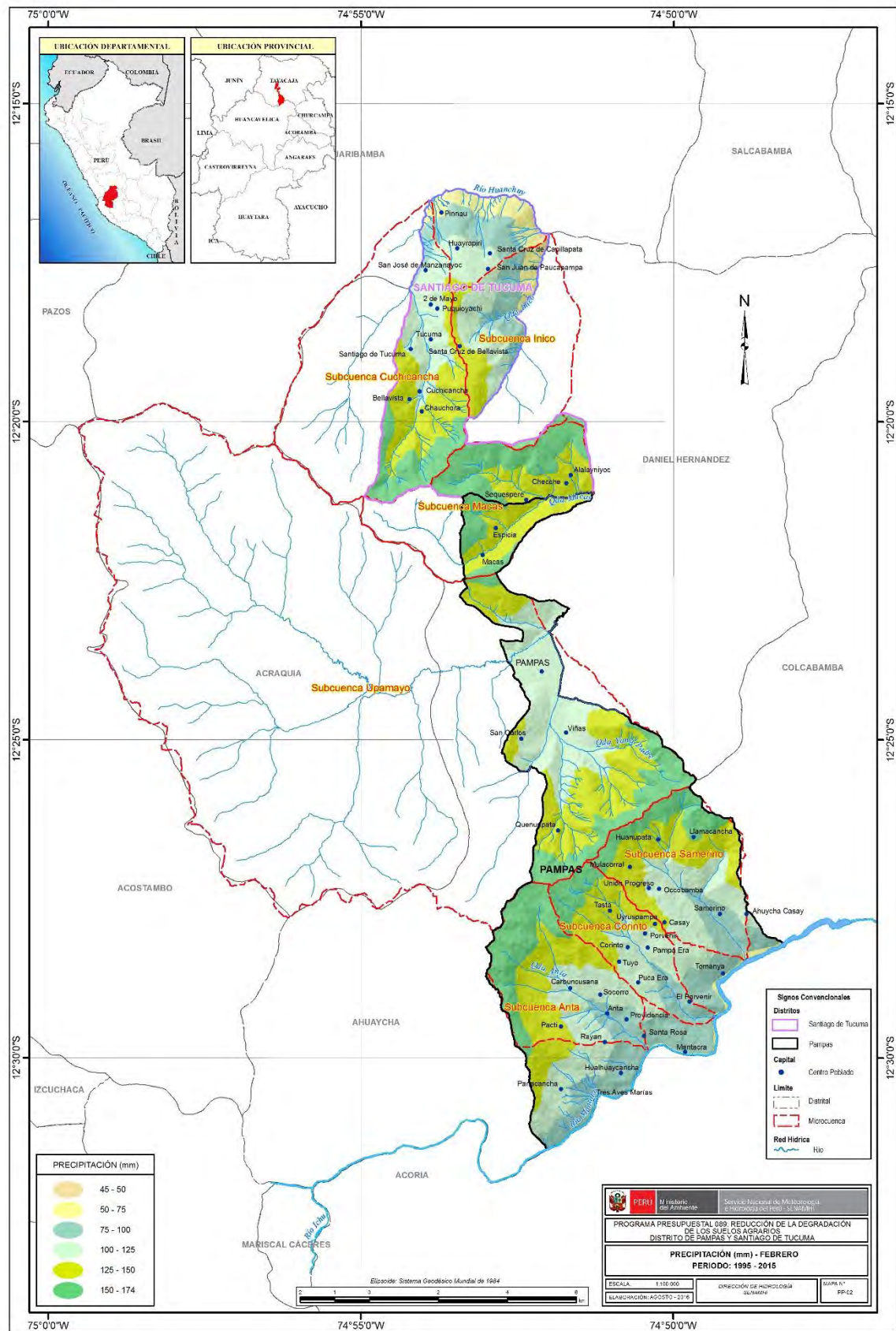




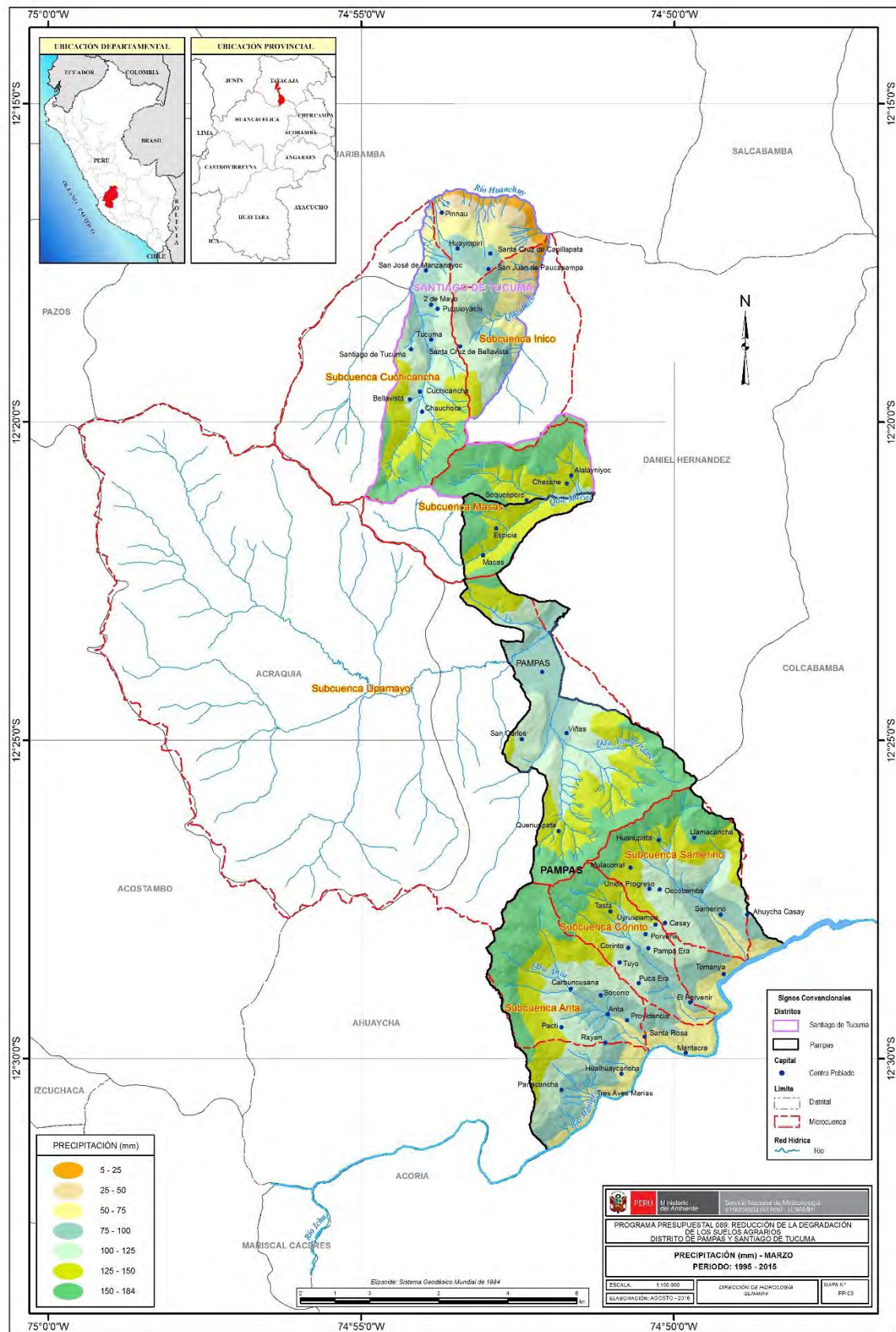
### 11.3.7 Mapas de Precipitación Media (mm)





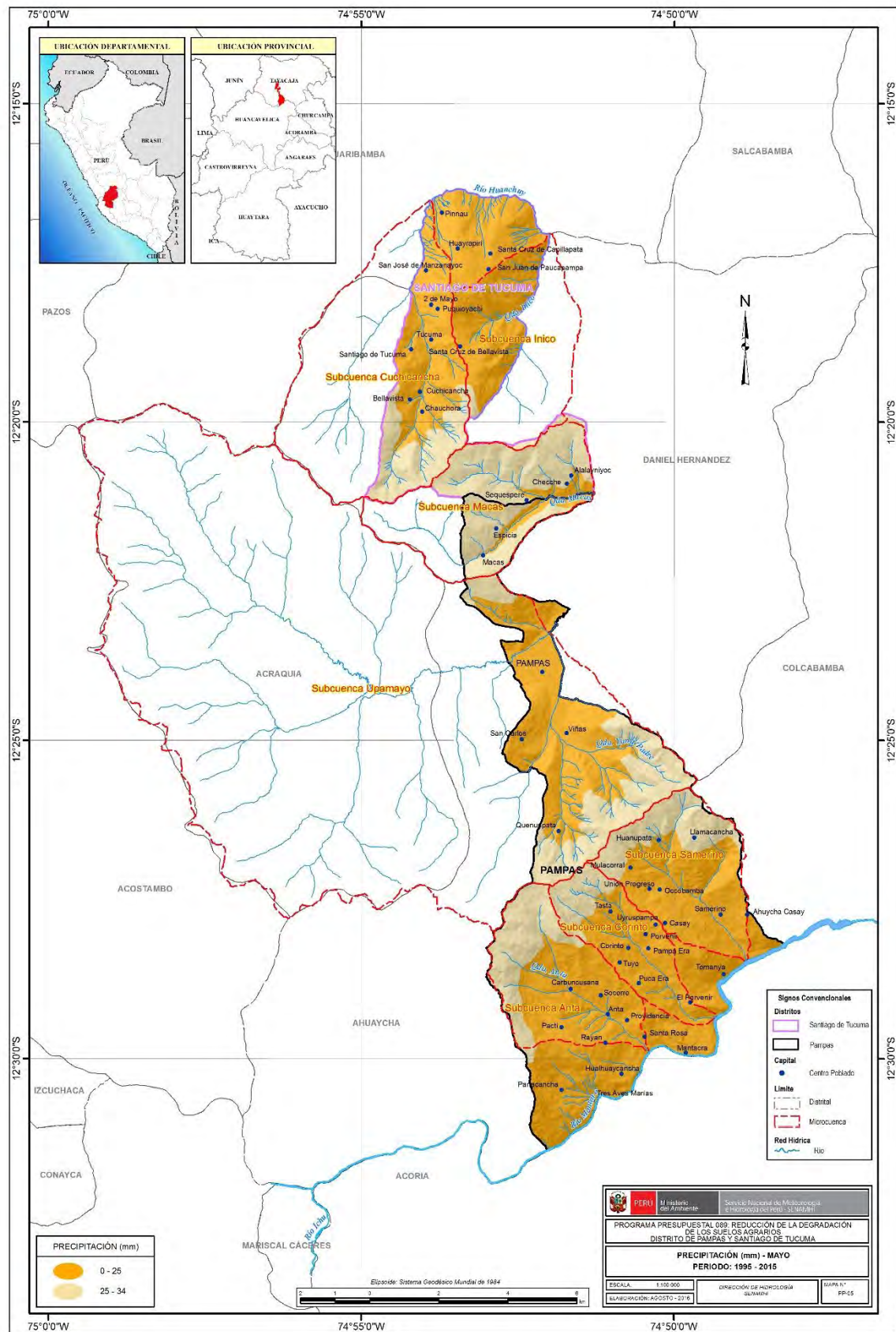


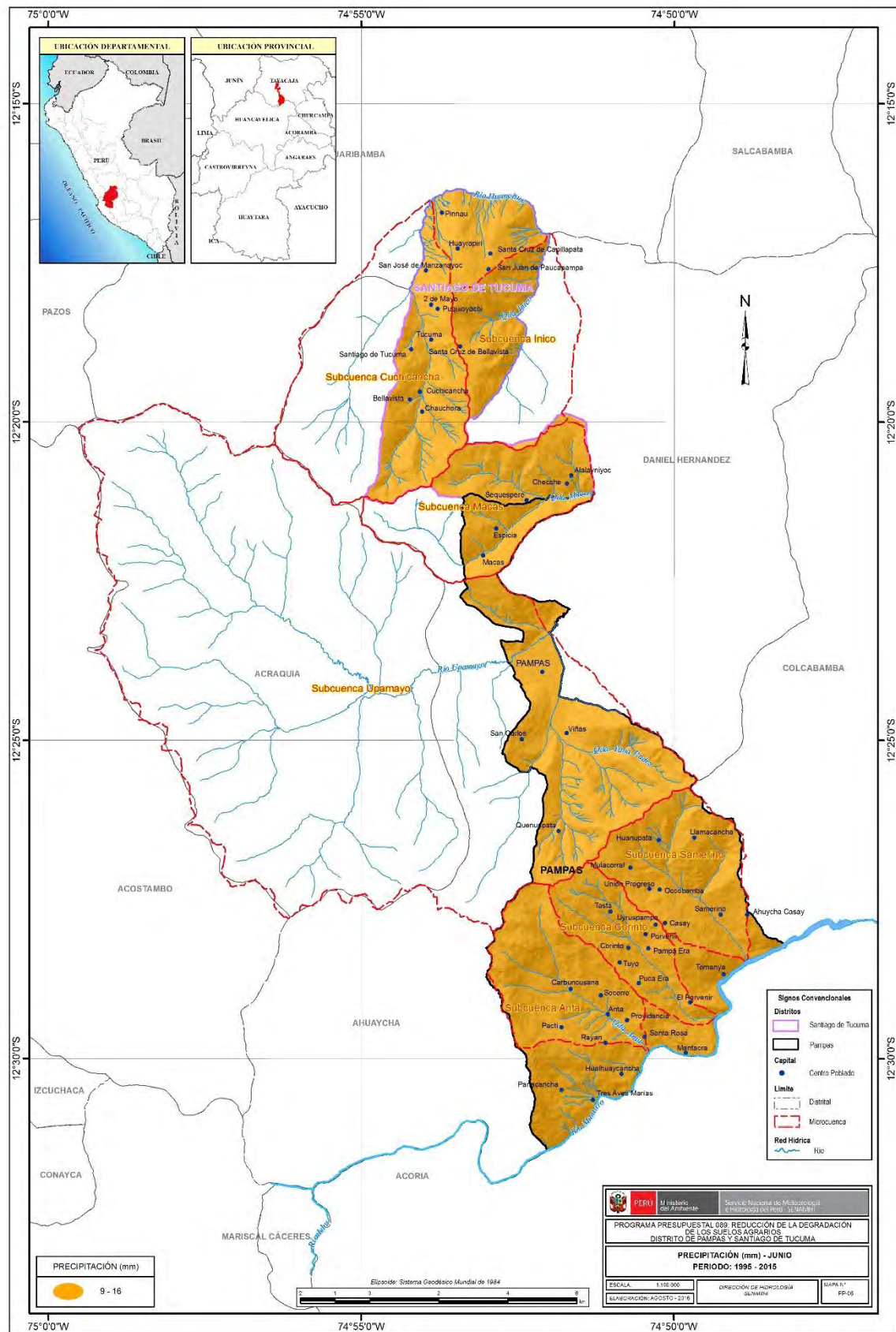




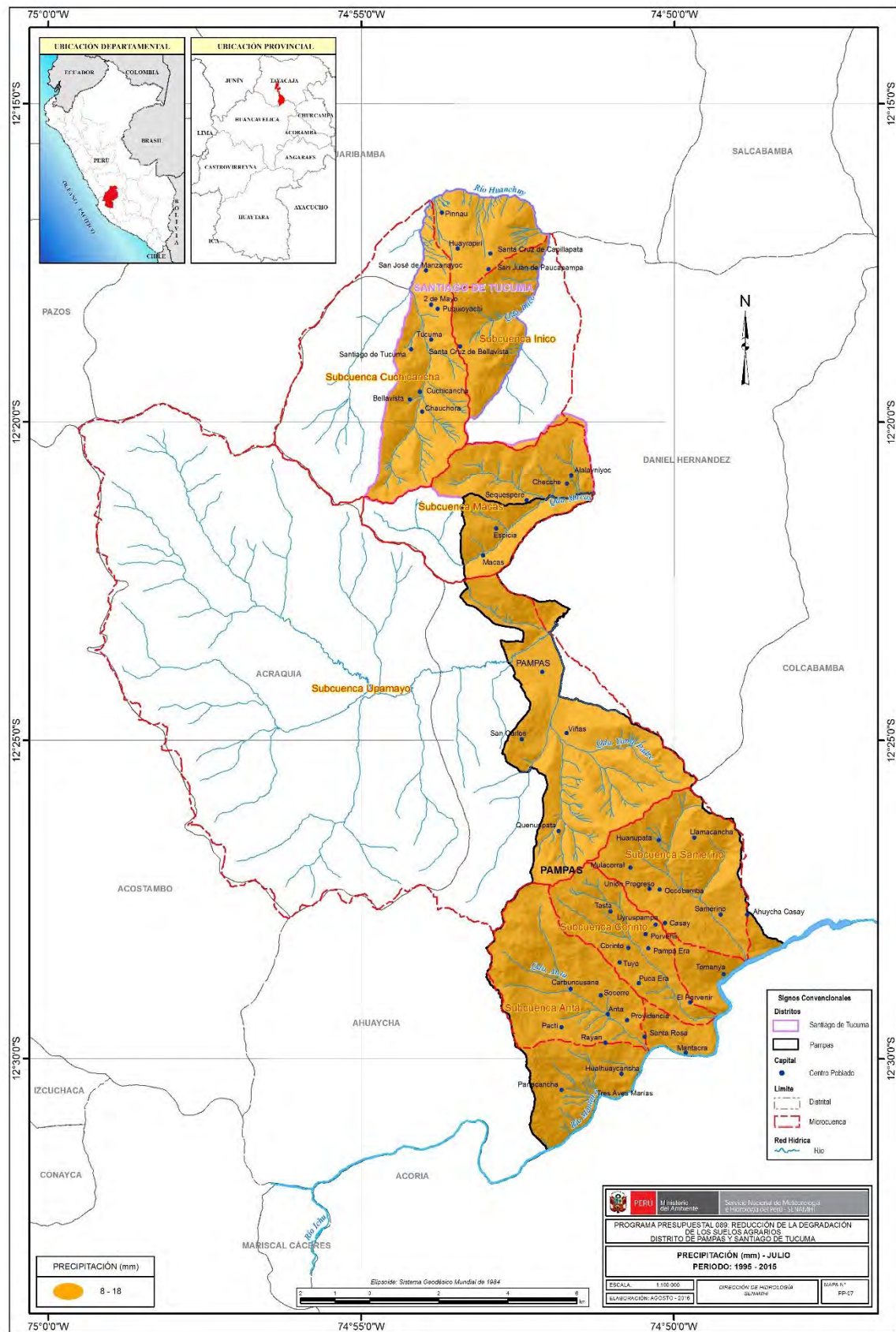




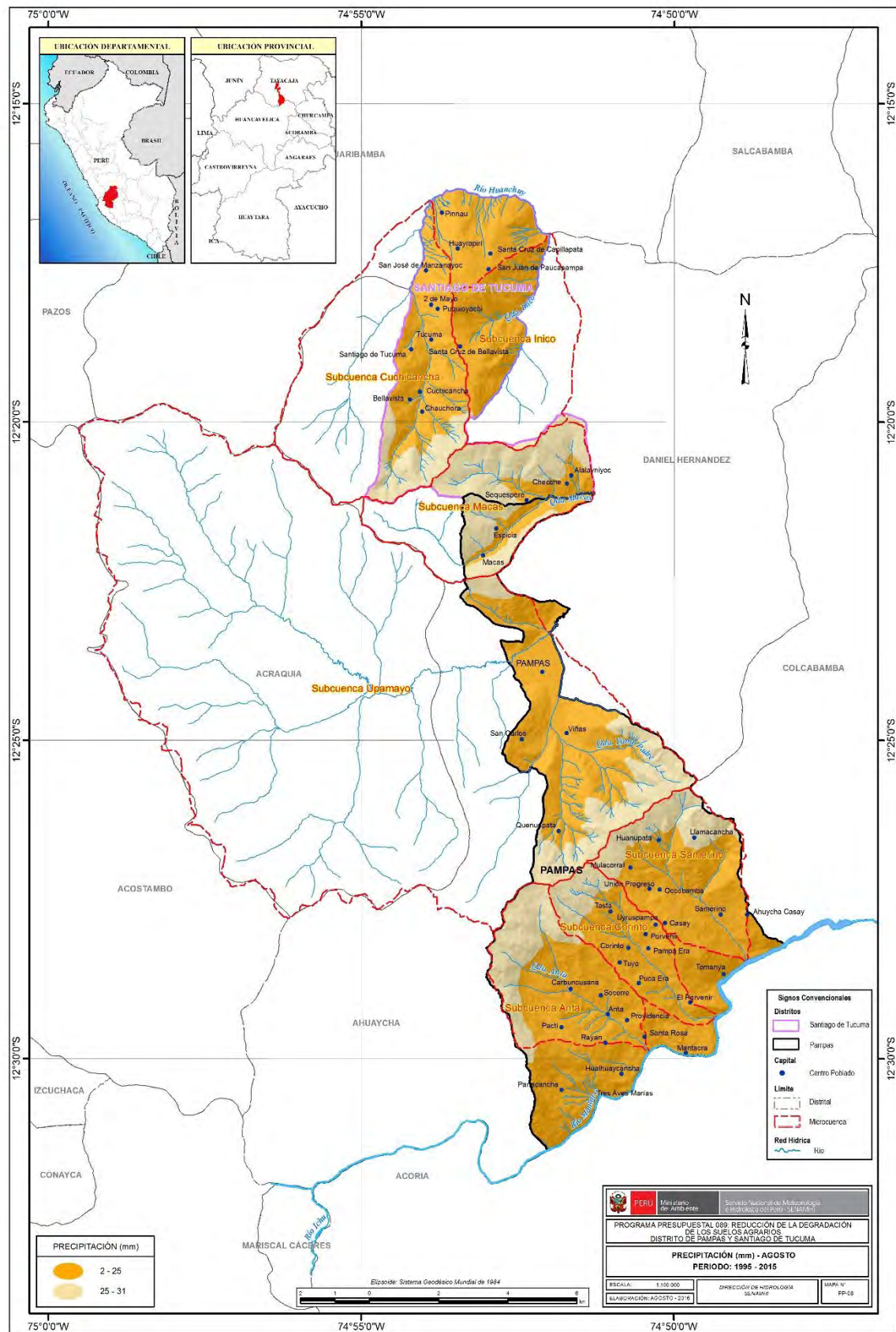


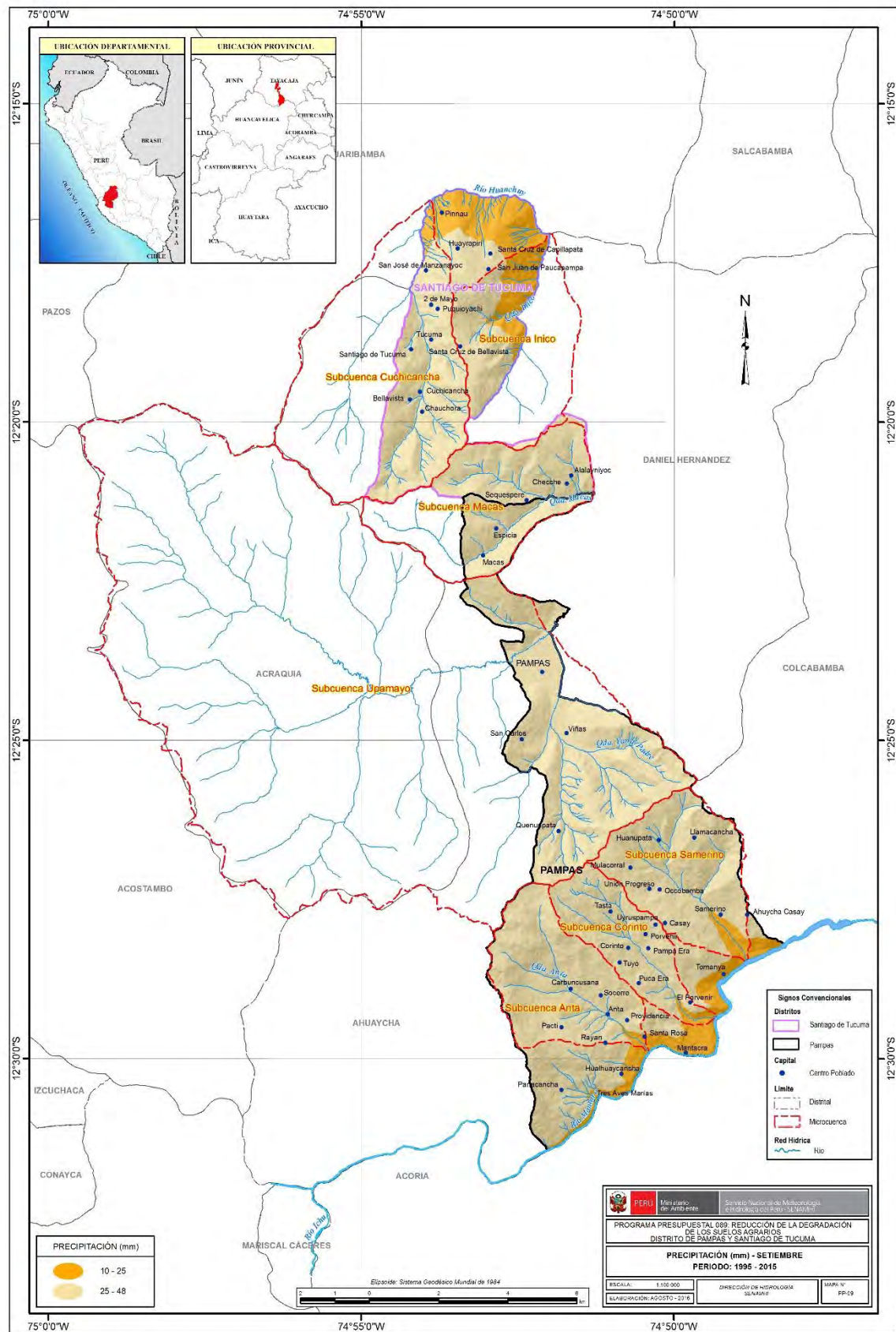






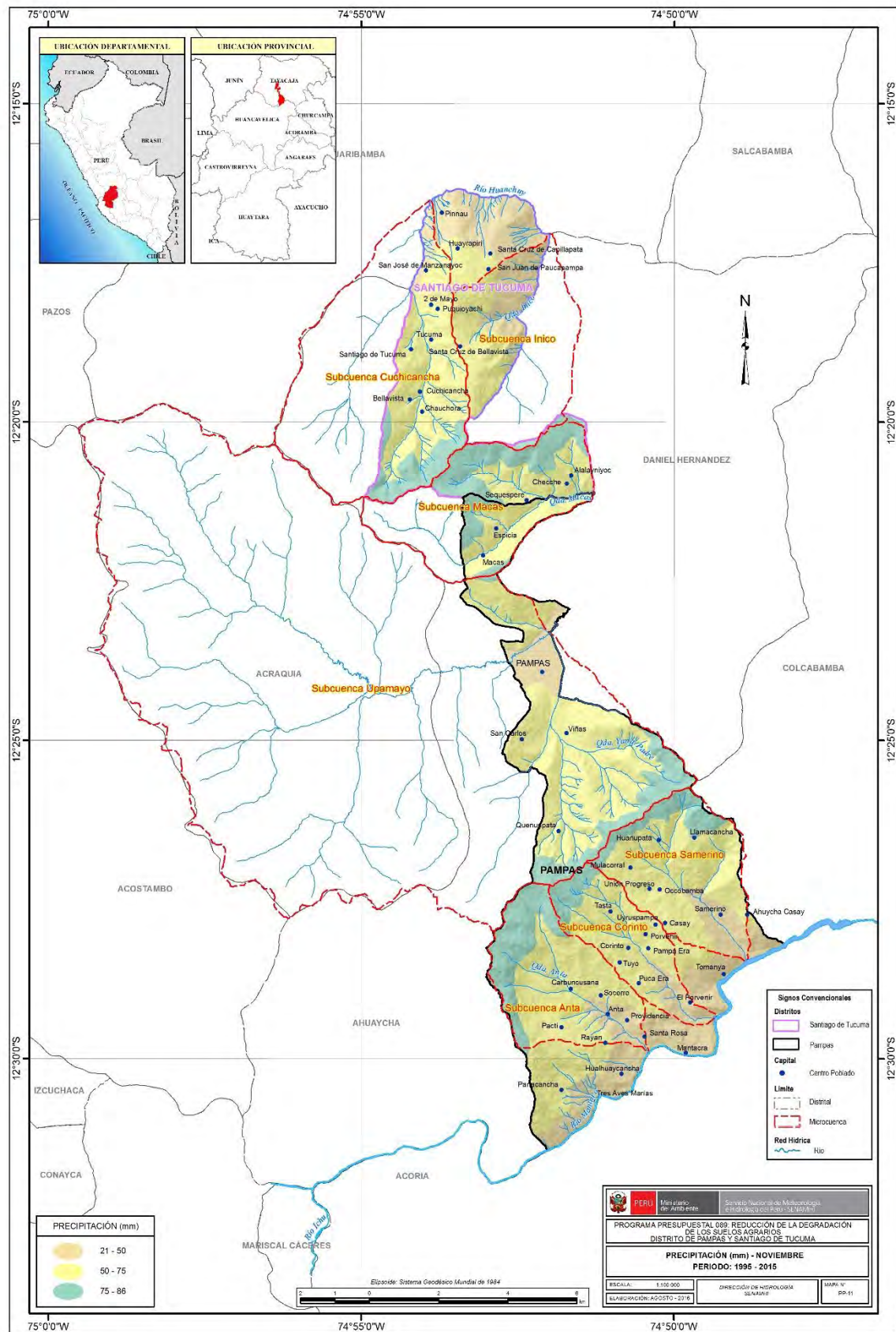




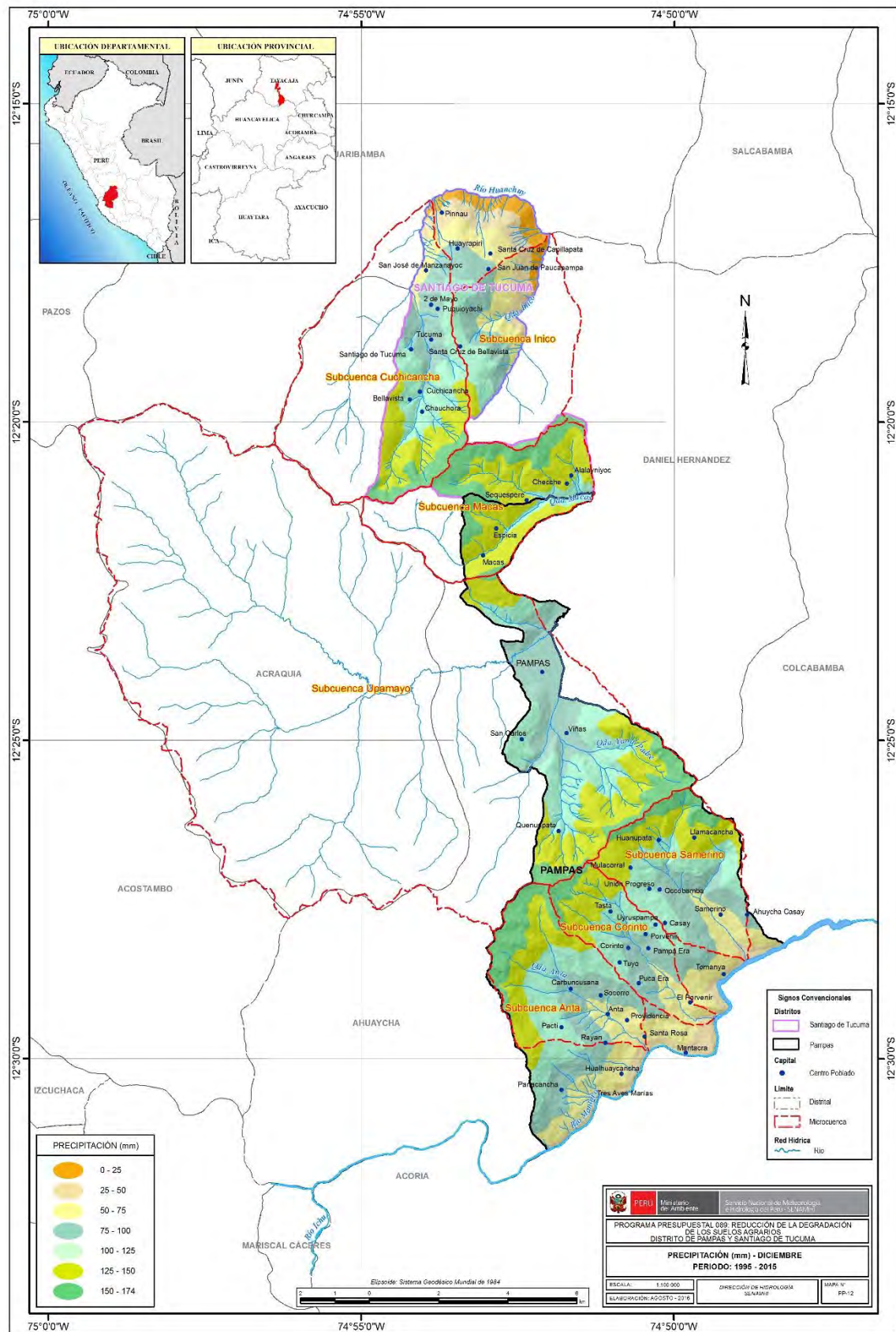




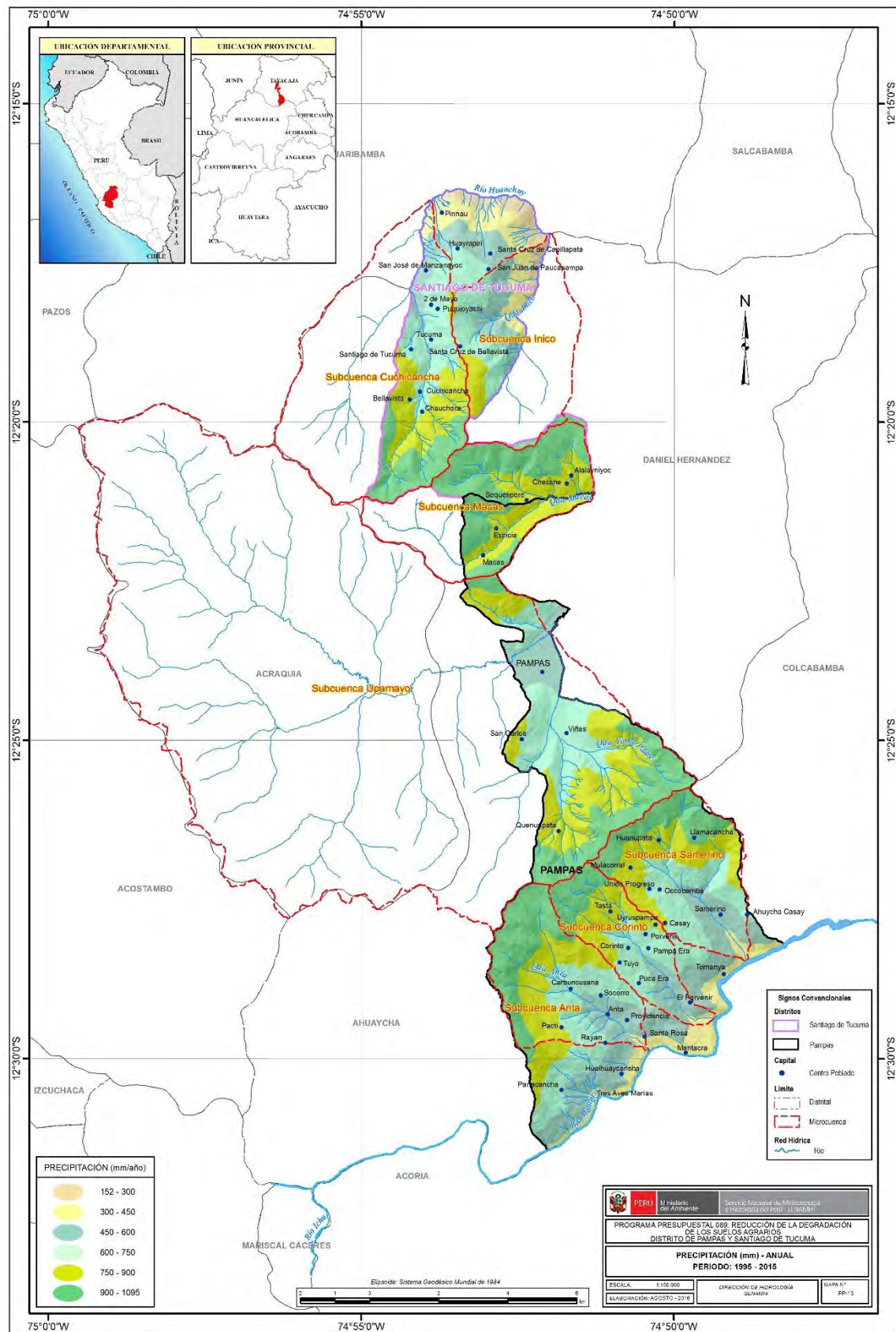




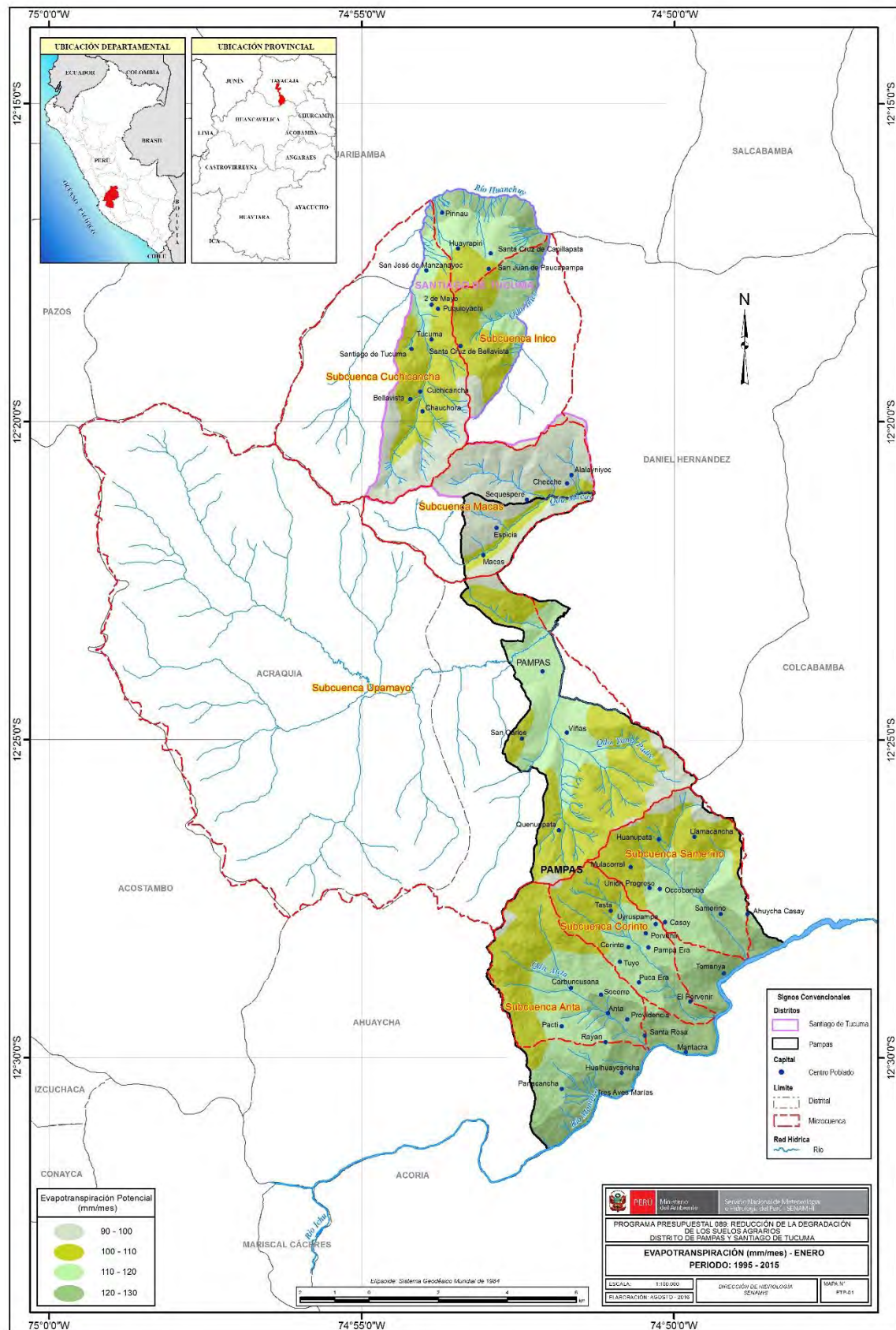




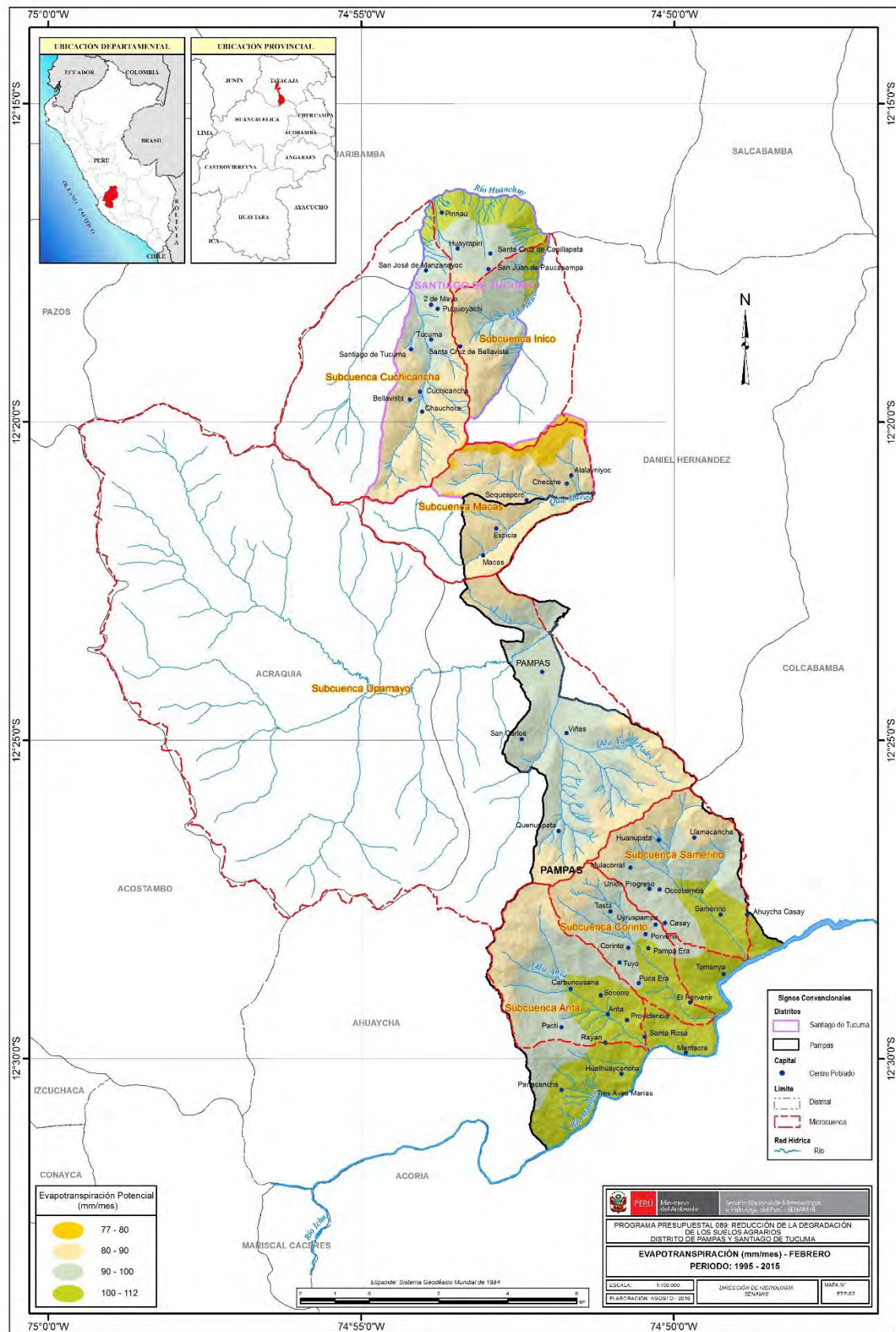


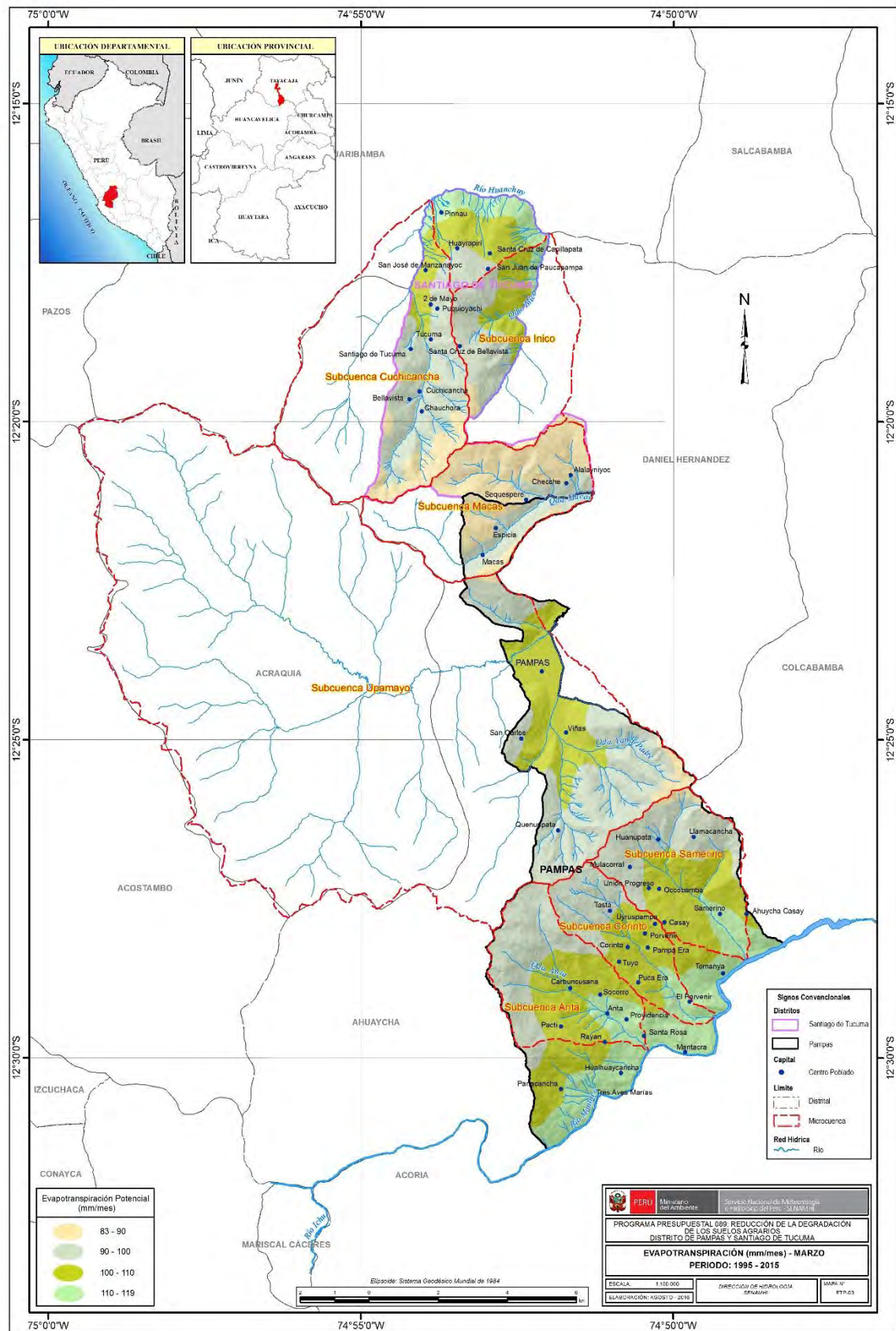


### 11.3.8 Mapas de Evapotranspiración Potencial (mm)

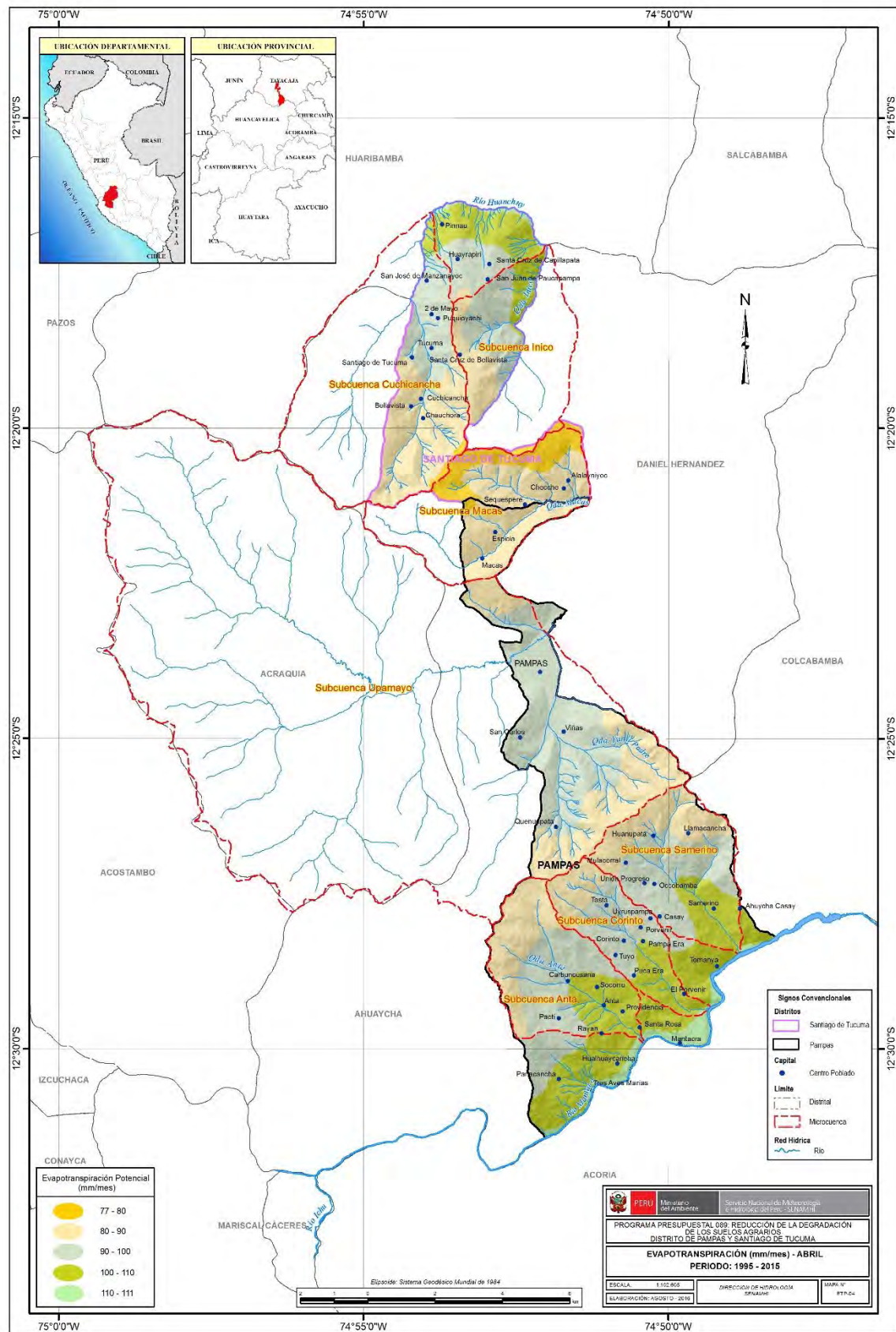




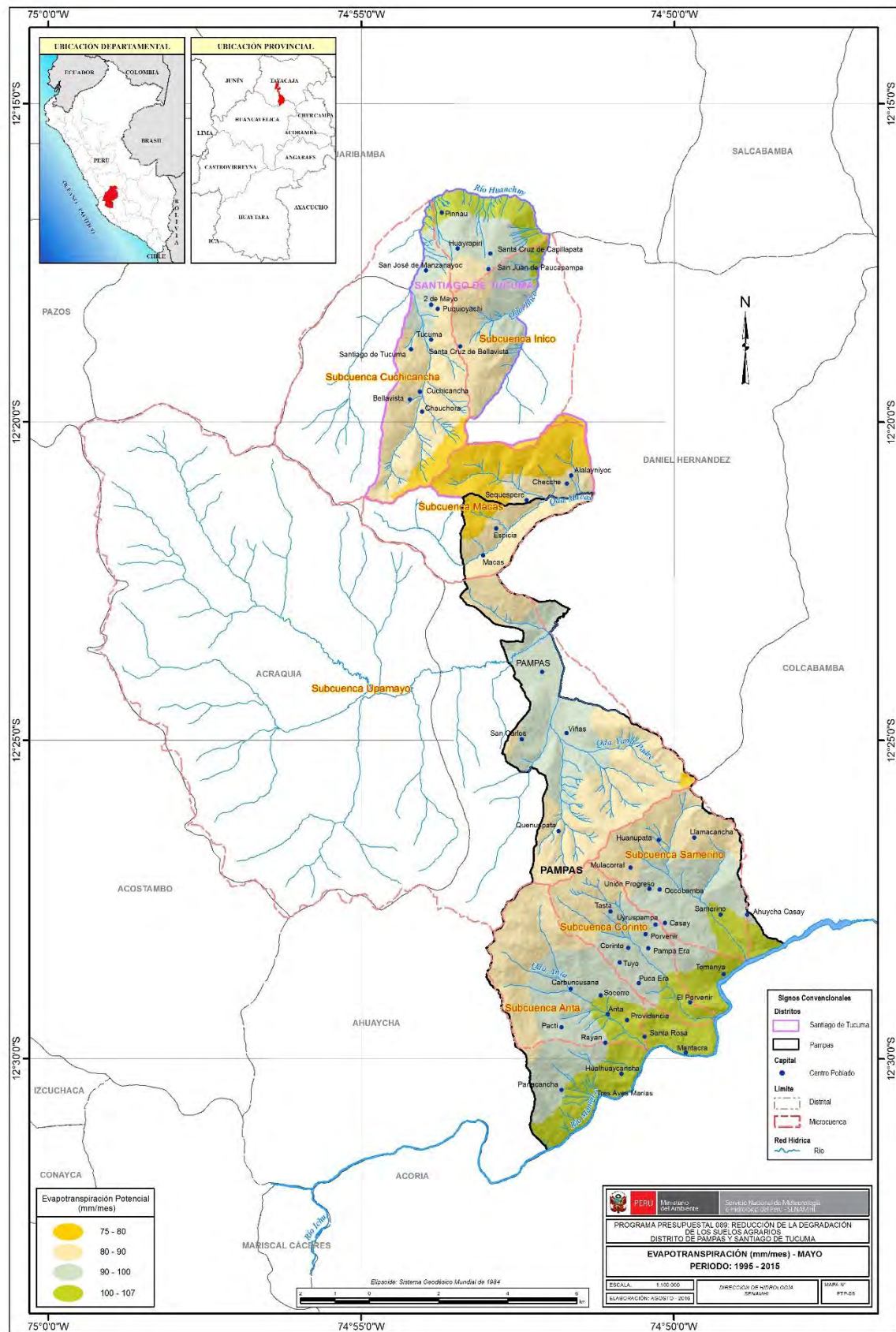


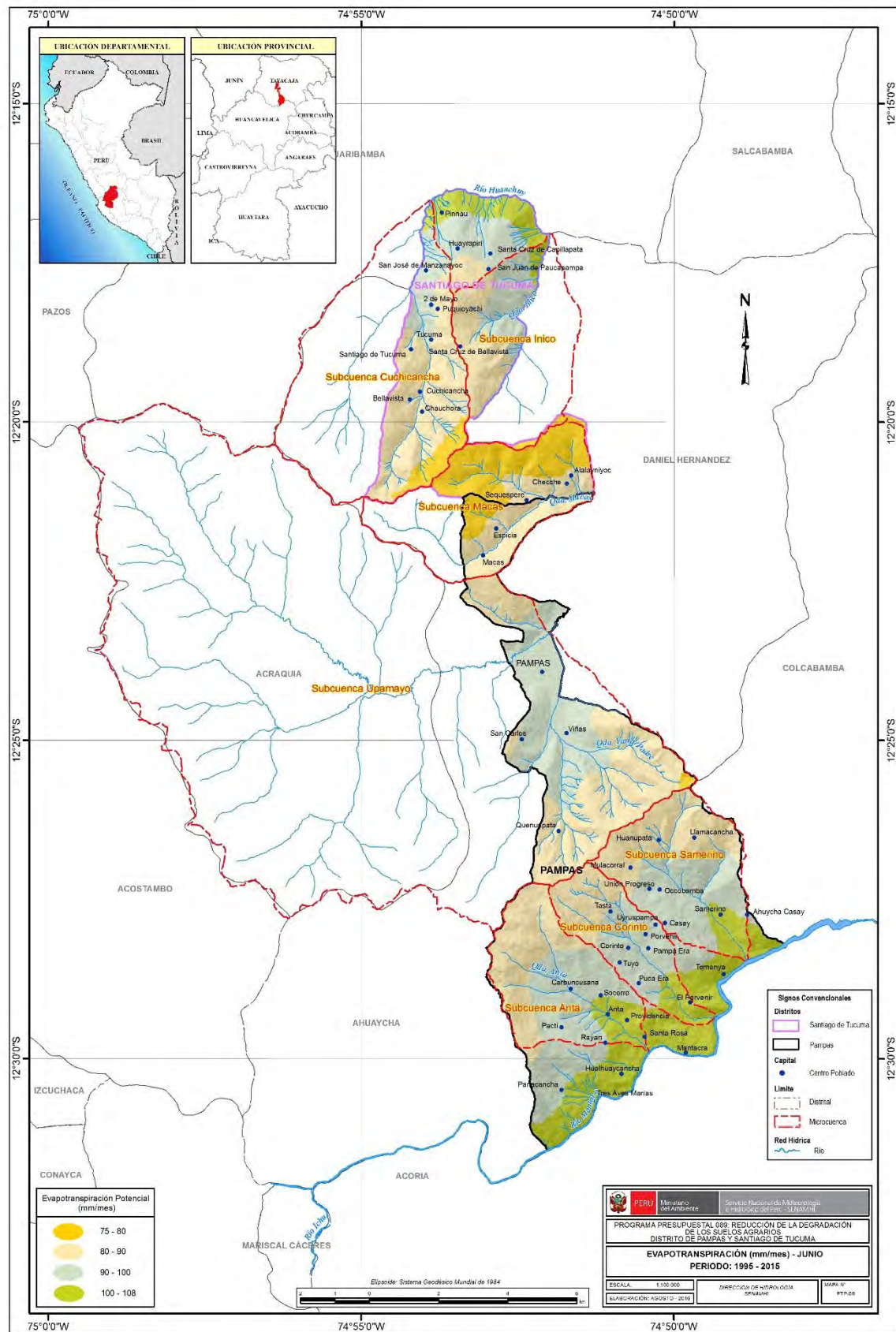




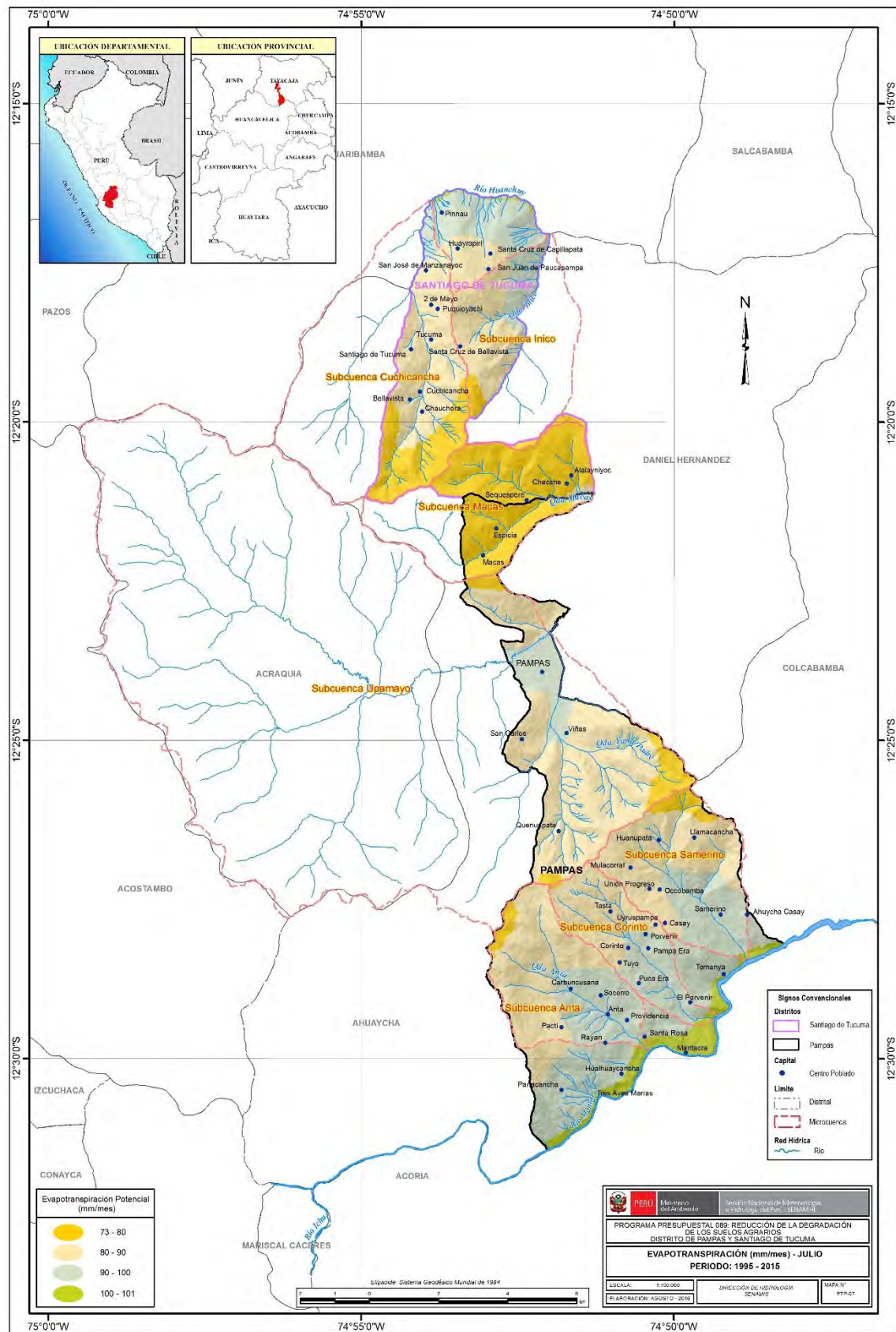


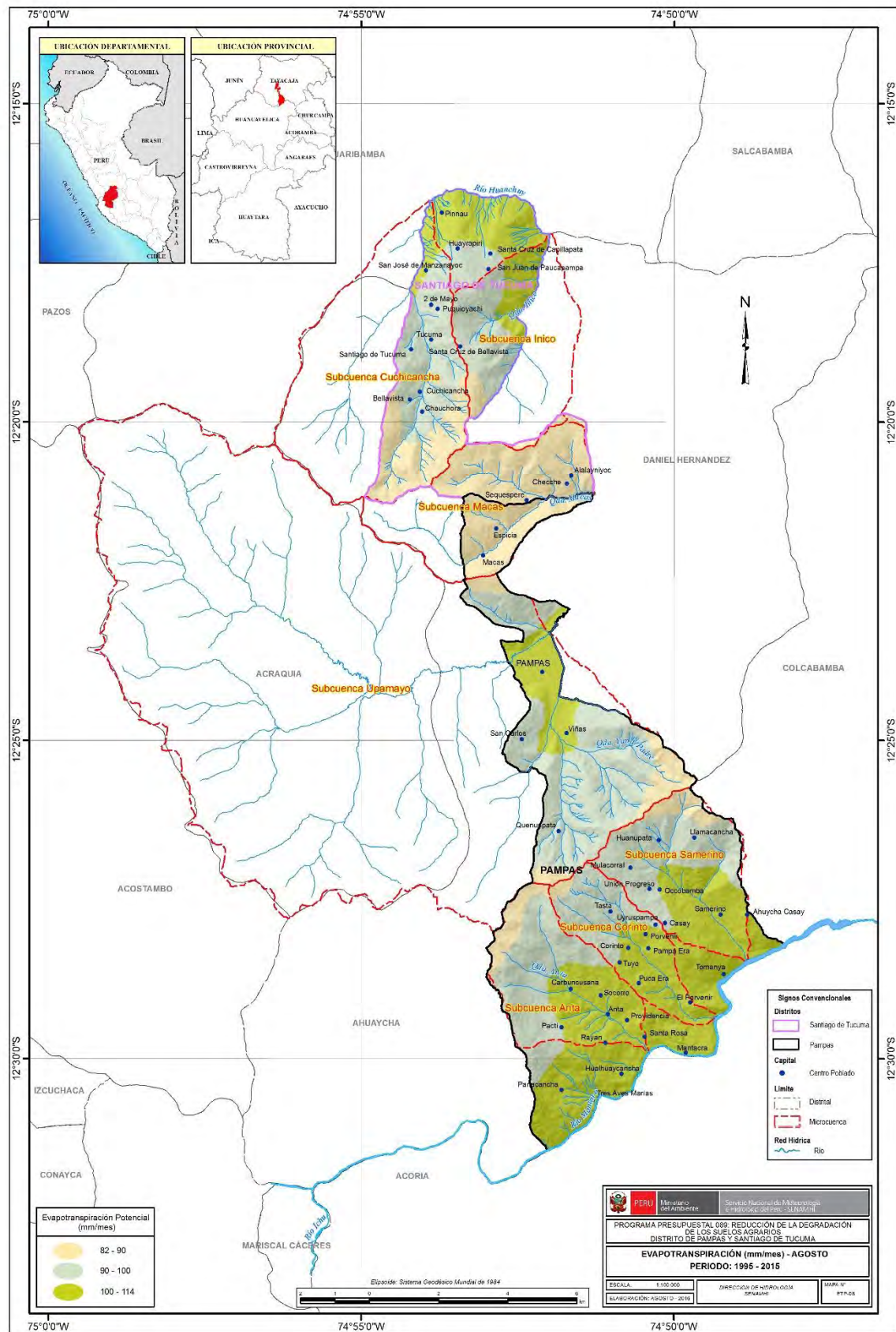




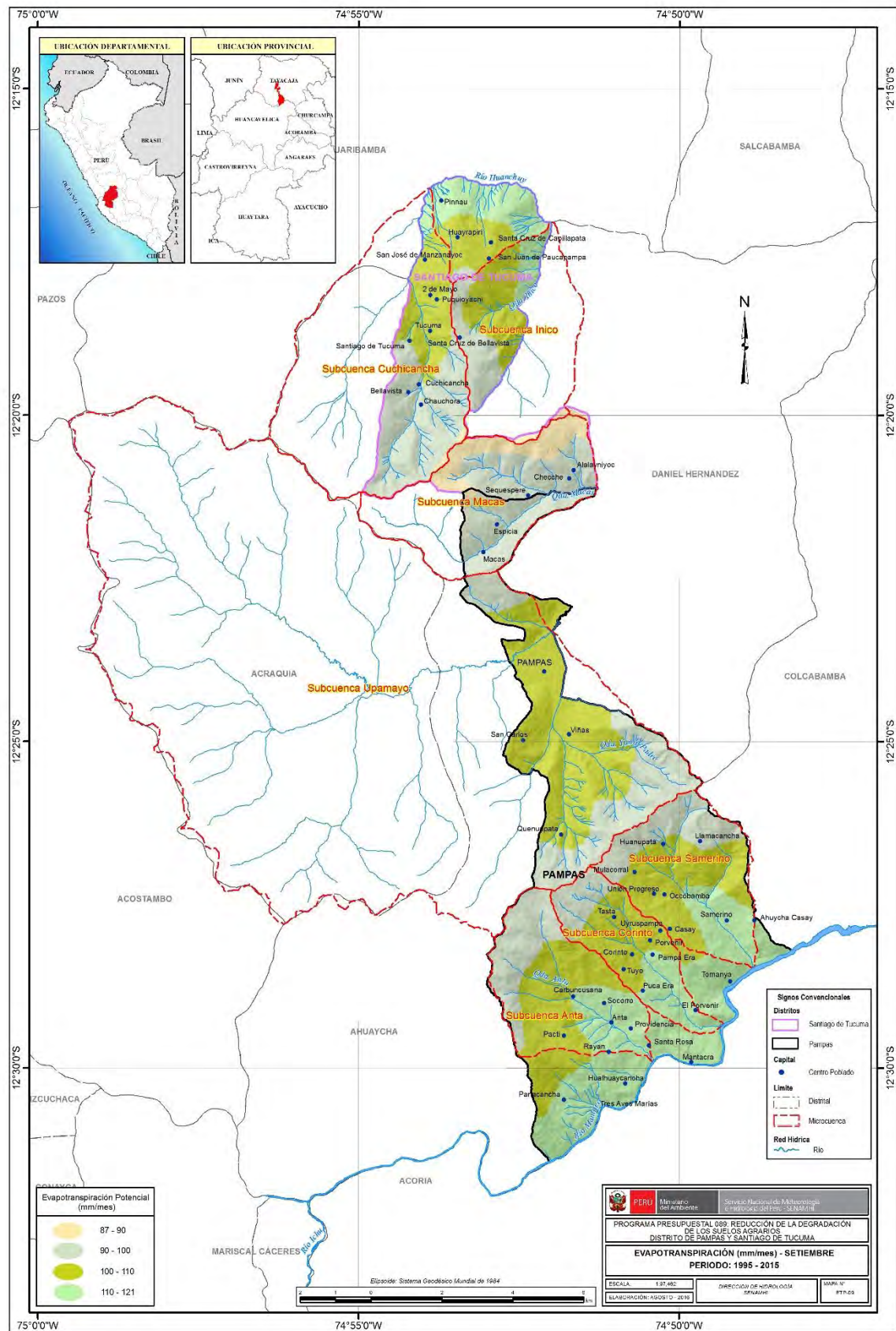




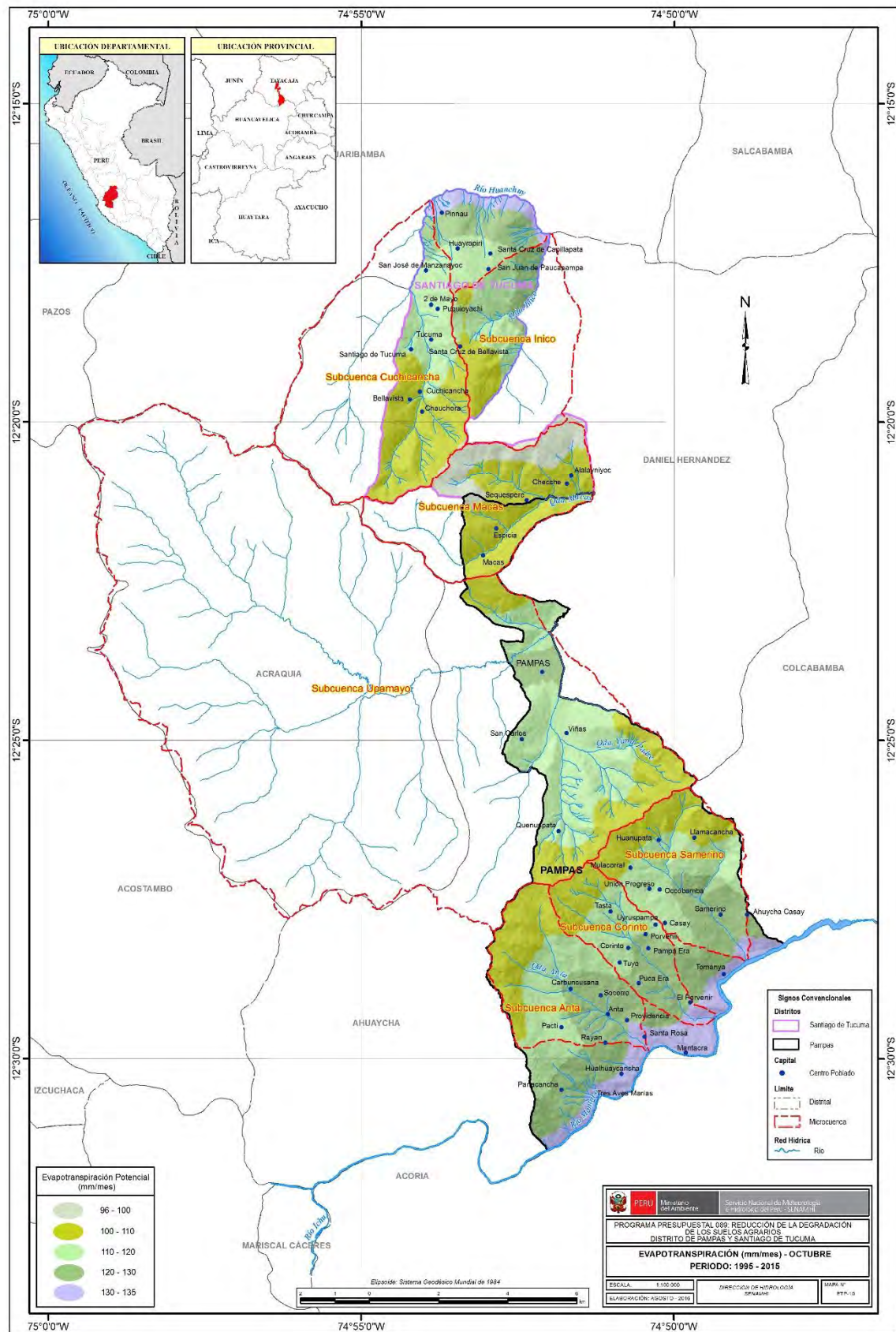


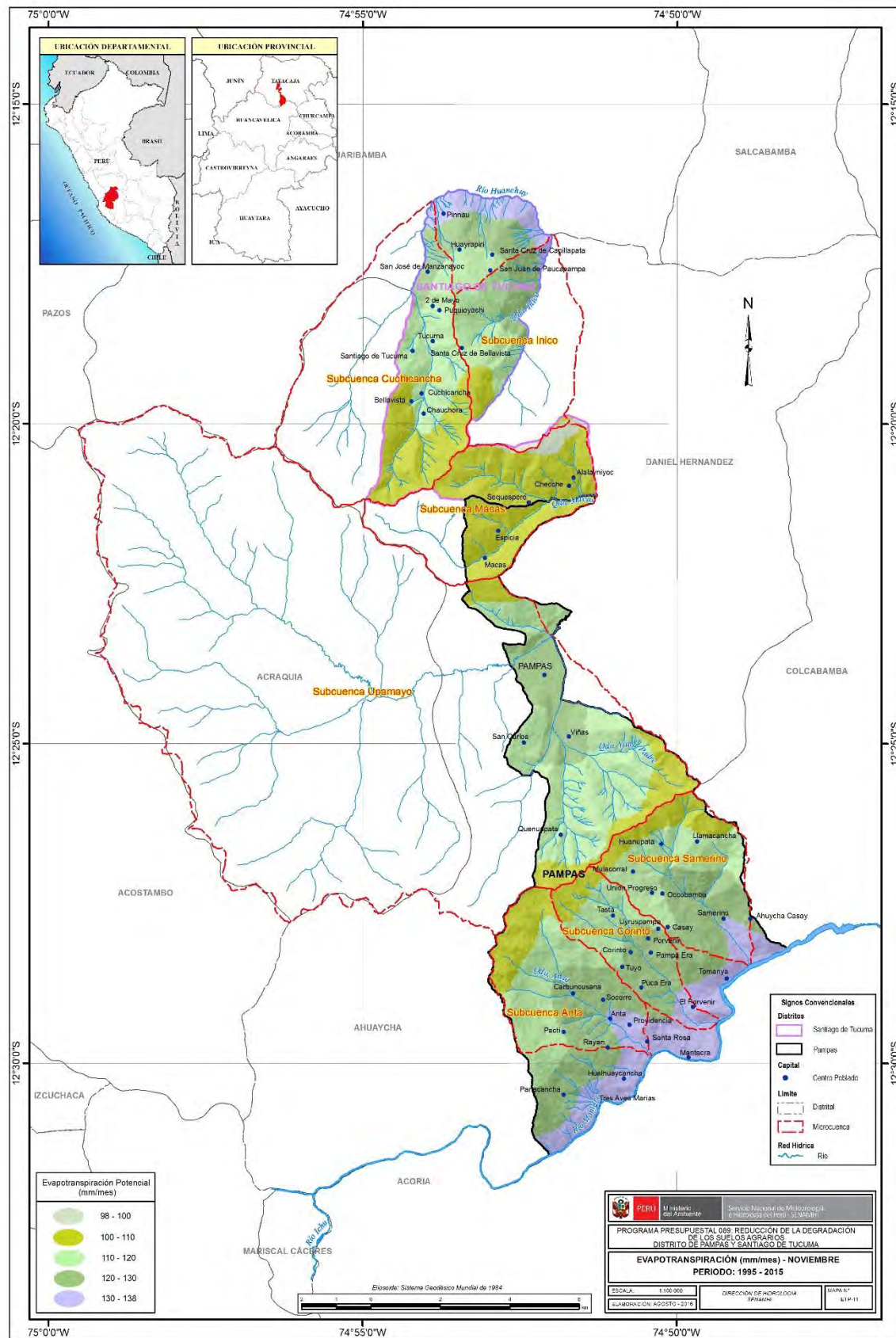




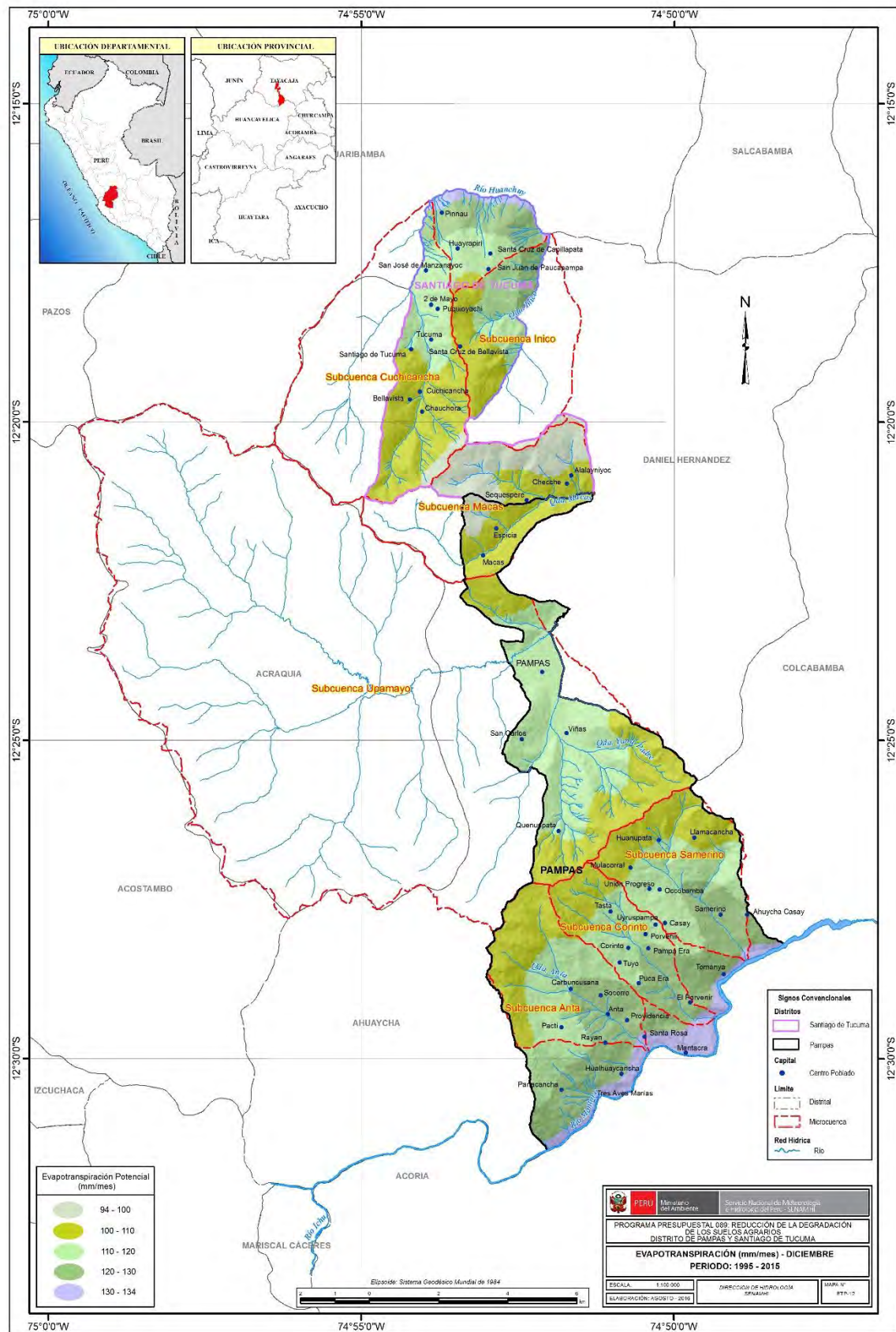


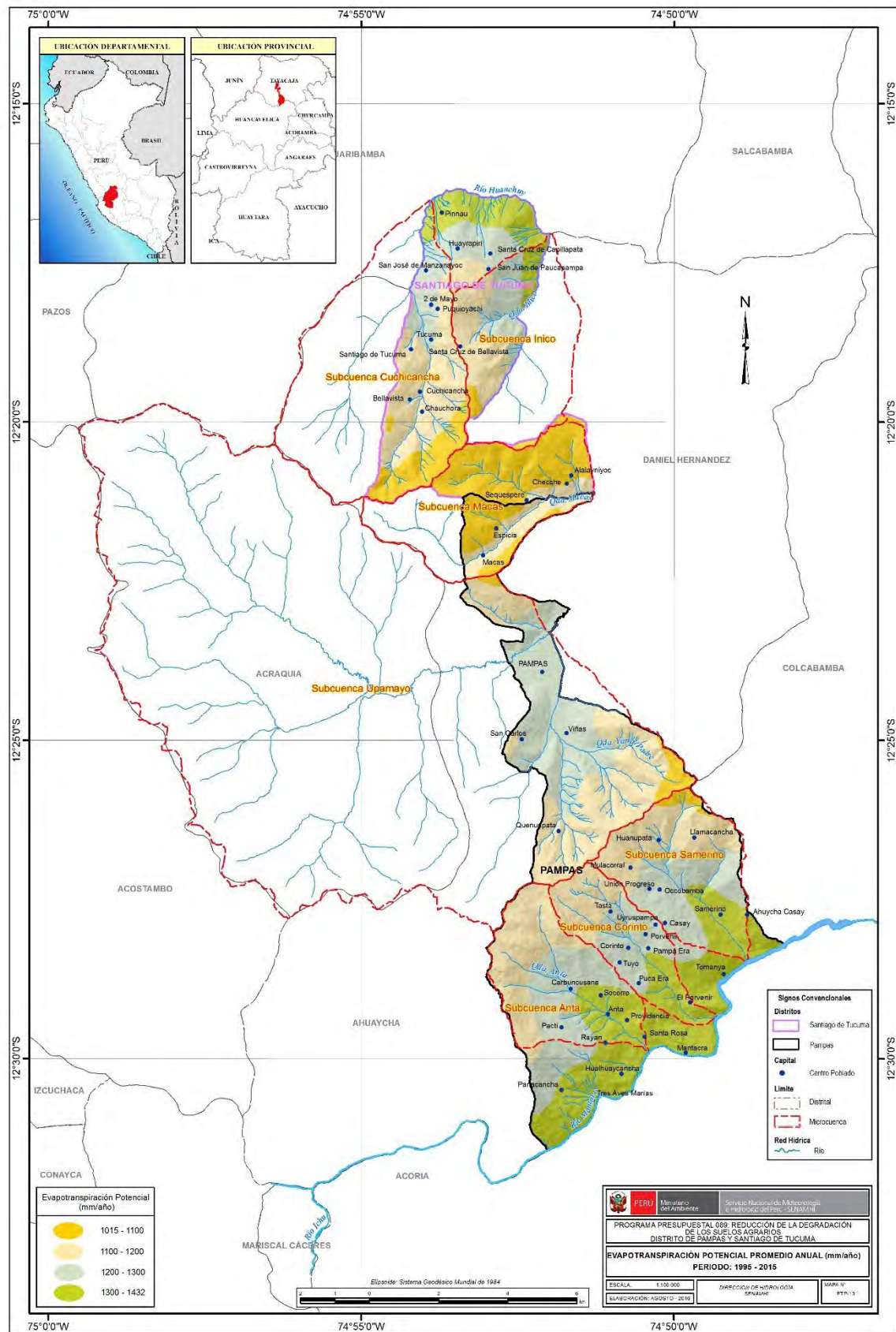














### 11.3.9 Mapas de Escorrentía Superficial (mm)

